Hb #9.20

R50083

Digitized by the Internet Archive
in 2015

https://archive.org/details/b21715336

DIE

ENTSTEHUNG DES LEBENS

AUS MECHANISCHEN GRUNDLAGEN ENTWICKELT

VON

Dr. LUDWIG ZEHNDER,

A.O. PROFESSOR FÜR PHYSIK AN DER UNIVERSITÄT FREIBURG I. B.

ROYAL COLLEGE OF PHYSICIANS, EDINB. LIBRARY.

ERSTER TEIL.

MONEREN. ZELLEN. PROTISTEN.

MIT 123 ABBILDUNGEN IM TEXT.

FREIBURG I. B.

LEIPZIG UND TÜBINGEN

VERLAG VON J. C. B. MOHR (PAUL SIEBECK).

1899.

Das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen behält sich die Verlagshandlung vor.

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Vorwort.

Von den einfachsten Annahmen über die Materie ausgehend, habe ich versucht, in einem vor nahezu zwei Jahren erschienenen Buche: „Die Mechanik des Weltalls“ alle bekannten physikalischen und chemischen Kräfte auf die Gravitation als einzige Fundamentalkraft zurückzuführen und die wichtigsten thatsächlich feststehenden Vorgänge in der unorganischen Welt aus diesen untersten mechanischen Grundlagen folgerichtig abzuleiten. Die notwendige Konsequenz meines Unternehmens war die Forderung, aus denselben Grundlagen die Vorgänge in der organischen Welt gleichfalls zu entwickeln. Diesem Ziel ist das vorliegende Buch gewidmet.

Die Kenntnis jener „Mechanik des Weltalls“ wird indessen für den Leser dieses Buches nicht vorausgesetzt. Als Grundlagen für meine gegenwärtigen Entwicklungen wählte ich vielmehr lediglich physikalische und chemische Thatsachen, welche als feststehend betrachtet werden dürfen. Um einerseits den Biologen, andererseits den Physikern, den Chemikern und anderen Naturforschern sowie auch manchen Laien verständlich zu sein, suchte ich so wenig Voraussetzungen als möglich zu machen; dennoch habe ich mich unnötiger Weitschweifigkeit thunlichst enthalten. Meine Entwicklungen biologischer Vorgänge sind in der Hauptsache als Schemata aufzufassen, als mögliche mechanische Entwicklungen, nicht als wirkliche Entwicklungen ganz bestimmter biologischer Vorgänge. Denn die wirklichen Lebensvorgänge in allen sichtbaren Lebewesen und namentlich in den höher entwickelten derselben sind viel zu kompliziert, als dass wir alle

ihre Einzelheiten auseinanderzuhalten und gleichzeitig zu behandeln vermöchten. Nur von einer typischen Behandlung derselben können wir uns Erfolg versprechen. Deshalb habe ich im Verlaufe meiner Entwicklungen bei höheren Lebewesen mehr und mehr einzelne wichtige Probleme herausgegriffen und eingehender behandelt, um zu zeigen, wie sich die mechanische Theorie der Entstehung des Lebens im besonderen Falle anwenden lässt; die weitere Ausarbeitung derselben muss ich selbstverständlich den Biologen überlassen.

Zum Zwecke der Vergleichung meiner theoretischen Entwicklungen mit den thatsächlichen Beobachtungen habe ich den grösseren Abschnitten Litteraturauszüge beigefügt. Ich versah diese Auszüge, wie auch andere mehr den Fachmann als den Laien interessierende, für das Verständnis des Ganzen nicht unmittelbar erforderlichen Abschnitte mit einem vorgesetzten *.

Freiburg i. B., den 10. Januar 1899.

Der Verfasser.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	1
1. Kapitel. **Theoretische Grundlagen**	5
Berechtigung des Atomismus	5
Grundlagen des Atomismus	6
Aggregatzustände	9
Magnetische und elektrische Kräfte	13
*Mechanische Grundlagen	14
2. Kapitel. **Wachstum und Struktur**	18
A. Molekeln	18
Molekelbildung aus gleichartigen Atomen	18
Molekelbildung aus ungleichartigen Atomen	22
Stabilität der Molekeln eines Gases	23
Kampf ums Dasein unter den Molekeln eines Gases	24
Aenderungen der Affinität	25
Stabilität und Kampf ums Dasein unter den Molekeln einer Flüssigkeit	26
Bildung bestimmter Molekelaggregate; Osmose	26
Stabilität und Kampf ums Dasein unter den Molekeln eines festen Körpers	28
Einfluss der Strahlung in Gasgemischen	28
Selektionsprinzip bei den Molekeln; Assimilation	33
Assimilation mehratomiger Molekeln	35
Einfluss der Strahlung in flüssigen und festen Gemischen	36
Erster biologischer Fundamentalsatz	37
B. Feste Körper	38
Erstarrung	38
Einfluss elektrischer und magnetischer Kräfte	40
Kristallinische Körper	43
Anlagerung mehratomiger Molekeln	45

Seite

Stabiler Gleichgewichtszustand in Gemischen mit Lösungsmitteln 48
Mannigfaltigkeit der Substanzen 49
C. Fistellen 50
Assimilation der Fistelle 52
Einfluss der Strahlung 53
Die ebene durchlässige Membran 53
Einfluss elektrischer und magnetischer Kräfte 56
Die Quellung 58
Kontraktile Substanz 61
Verallgemeinerung des Fistellenbegriffs 63
Die kugelförmige Membran 63
Assimilationsvorgang bei hochkomplizierten Fistellen; Anpassung der Molekeln 65
Die cylindrische Membran 69
Membranen komplizierterer Krümmungen; Anpassung der Fistellen 70
Die Membran als chemische Werkstätte 72
Aeussere Einflüsse bei der Assimilation, Nahrung, Belichtung 72
Zweiter biologischer Fundamentalsatz 74
Entstehung neuer Molekelarten durch Assimilationsvorgänge; Gegenseitigkeitsverhältnis 75
D. Fistellengebilde 77
Bläschen, Körnchen, Röhrchen, Fibrillen 77
Grössenverhältnisse 81
Stoffwechsel und Wachstum bei Fistellengebilden . . . 82
Ovoide 85
Bewegungsvorgänge; Wimpern, Geisseln, Pseudopodien . 87
Entstehung der Gastrula im begrenzten Raume . . . 90
Entstehung der Gastrula im unbegrenzten Raume . . 95
Bewegungen der Gastrula 95
Flächenvergrösserung der geschlossenen Membran . . . 95
Apposition und Intussuseeption 97
E. Fortpflanzung der Fistellengebilde 98
Wachstum des Bläschens 98
Fortpflanzung durch Zerplatzen 99
Fortpflanzung durch aequale Teilung 100
Wachstum des Körnchens 101
Fortpflanzung durch Knospung 101

Seite

Wachstum und Fortpflanzung von Röhrchen und Fibrillen 103
Fortpflanzung der Gastrula 104
Gegenseitigkeitsverhältnis in Fistellengebilden 105
F. *Strukturverhältnisse 106
*Konstitution der Molekeln 106
*Doppelbrechung 112
*Optisches Drehungsvermögen 113
3. Kapitel. **Zellen, Protisten** 117
Rekapitulation 117
Grenze der belebten Natur 119
A. Die Zelle und ihre Bestandteile 122
Moneren 126
Aufbau der Zellteile 130
Einfache Zellmembran 131
Doppelte Zellmembran 134
Kräftigung der Zellbestandteile durch Funktionierung . 138
Dritter biologischer Fundamentalsatz 139
Breitlappige Pseudopodien 139
Dünne Pseudopodien, Wimpern, Geisseln, Haare . . . 140
Gastrulazelle 145
Zellmundbildung 146
Protoplasma 149
Kernmembran 151
Kernsubstanzen 151
Verdauende Substanz 153
B. Reizwirkungen 154
Reizleitende Substanz 154
Chemische Reize 156
Ermüdung, Lähmung 157
Verschiedene andere Reizarten 158
Reizumwandlung 159
Reizübertragung 160
Schwellenwert, Optimum des Reizes 162
Zeitdauer des Reizerfolgs 163
C. Differenzierungen 164
Besondere Eigenschaften der Zellsubstanzen 164
Differenzierungen in der Zelle 165
a. Stützsubstanz 166
b. Transportierende Substanz 167

Seite

c. Verdauende Substanz 168
d. Sezernierende Substanz 169
e. Kontraktile Substanz 170
f. Nervöse Substanz 171
Weitere Differenzierungen 171
Morphologische Differenzierungen 172
Anpassungsfähigkeit der verdauenden Substanz . . . 178
Differenzierung mehrerer Zellen 180
D. Fortpflanzung der Zellen 181
Fortpflanzung durch direkte Zellteilung 181
Fortpflanzung durch indirekte Zellteilung 183
Korrelation der Zellsubstanzen; nervöse Zentralstelle . 187
Bildung der Kernspindel 188
Teilung des Zentralkörperchens 190
Weitere Kernspindelvorgänge 191
Ein- und Durchschnürung der Zelle 194
Fortpflanzung durch Zellknospung u. durch Samenbildung 200
Präformation und Epigenesis 200
Regeneration 201
Urzeugung 204
E. *Litteratur 207

Abkürzungen im Text:

bt. = betreffend; bz. = beziehungsweise; usf. = und so fort; sg. = sogenannt; zb. = zum Beispiel; S. = Seite.

Einleitung.

Charles Darwin hat sich mit seinem epochemachenden Werke: „Die Entstehung der Arten“ das unbestreitbare Verdienst erworben, der Descendenztheorie in den letzten Dezennien allgemeinere Geltung verschafft zu haben. Sein Verdienst kann dadurch nicht geschmälert werden, dass er nicht mehr als Begründer dieser Theorie aufgefasst wird, weil ausser seinen direkten Vorgängern bereits griechische Gelehrte im grauen Altertume die Vorstellung einer Urzeugung organisierter Wesen aus unorganisierter Materie sich gebildet und sogar eine „Descendenz“ höher entwickelter Organismen aus den niedersten Lebewesen behauptet hatten[1]). Von der Behauptung eines inneren Zusammenhanges zweier Naturvorgänge, ja sogar von der festen Ueberzeugung und vermeintlichen Erkenntnis der Existenz eines solchen Zusammenhanges bis zu dem strengen Beweise desselben ist noch ein weiter Schritt. Diesen Schritt hat aber Darwin für die Descendenztheorie gethan, im Anschluss an Jean Lamarcks Prinzip der Vererbung erworbener Eigenschaften, durch Aufstellung seines Selektionsprinzips im Kampf ums Dasein. In naturwissenschaftlichen Kreisen wenigstens wird neuerdings die Gültigkeit des Selektionsprinzips und die Descendenztheorie kaum mehr ernstlich in Zweifel gezogen. Auch ist Darwins Selektionsprinzip durch W. Roux und andere immer noch weiter ausgedehnt, auf die Teile eines Organismus, auf die einzelnen Zellen desselben, ja sogar auf die kleinsten Bestandteile dieser Zellen übertragen worden[2]).

[1]) Schon lange vor Christi Geburt hat Empedokles die Descendenztheorie und das Selektionsprinzip durch den Kampf des Lebens ausgesprochen.

[2]) E. Haeckel, Natürliche Schöpfungsgeschichte, 9. Aufl. Berlin 1898 (S. 227).

Von deutschen Forschern ist insbesondere E. Haeckel frühzeitig in hervorragender Weise erläuternd und schaffend für den Darwinismus eingetreten. In seiner „Natürlichen Schöpfungsgeschichte“ [1]) und in seiner „Anthropogenie“ [2]) hat derselbe von den kleinsten nur geahnten Lebewesen anfangend durch das ganze Tierreich hindurch einen ganzen Stammbaum der höchsten Wirbeltiere und des Menschengeschlechts zuerst hypothetisch aufgestellt, später durch biologische Forschungen mehr und mehr begründet. Er und nach ihm M. Verworn [3]) haben zu zeigen versucht, dass auch die den Philosophen am unverständlichsten scheinenden seelischen Vorgänge in lückenlos aufsteigender Reihe bei allen Wesen vorhanden sind, dass sie bei den kleinsten am einfachsten gebildeten Lebewesen in ihren ersten Anfängen bestehen müssen, dass sie dort in der That schon erkennbar sind. Ja es wurde sogar die Frage nach der rätselhaften Urzeugung dadurch scheinbar aus der Welt geschafft, dass man behauptete, prinzipielle Unterschiede zwischen unorganisierten und organisierten Körpern seien nicht nachzuweisen. Eine wichtige Konsequenz dieser Anschauung ist von den genannten beiden Forschern bereits gezogen worden: Nach ihnen müssen auch in den einzelnen Molekeln entsprechend einfachere seelische Prozesse sich abspielen: jede Molekel und jedes Atom ist mit einer „Seele“ begabt. Eine „Entstehung“ der Seele ist somit ausgeschlossen, ein Nachweis einer solchen Entstehung überflüssig und unstatthaft.

Damit ist die Behauptung aufgestellt, dass eine Brücke hinüberführen müsse von den unorganisierten Körpern zu den organisierten und dass alle in den letzteren auftretenden Kräfte zurückführbar seien auf die in ersteren wirkenden physikalischen und chemischen Kräfte, wahrscheinlich sogar auf die uns bis jetzt bereits bekannten Kräfte dieser Art. Die Brücke selber kennen wir indessen noch nicht, und es ist der Versuch, dieselbe zu finden, von manchen biologischen Forschern immer und immer wieder gemacht worden. Gewiss geben aber auch jene beiden genannten Forscher in dieser Beziehung noch vieles Unbefriedigende ihrer Theorie zu. Von der Behauptung und sogar von

[1]) E. Haeckel, Natürliche Schöpfungsgeschichte, 9. Aufl. Berlin 1898.
[2]) E. Haeckel, Anthropogenie, 4. Aufl. Leipzig 1891.
[3]) M. Verworn, Allgemeine Physiologie, 2. Aufl. Jena 1897.

der festen Ueberzeugung der Existenz einer solchen Brücke bis zu dem strengen Beweise derselben ist wohl hier ein nicht minder weiter Schritt.

Die biologischen Forscher haben versucht, von ihrem Standpunkt aus den Weg zu jener Brücke zu finden. Sie zogen dabei Schlüsse aus den ihnen bekannten verwickelten Lebensvorgängen auf einfachere physikalische und chemische Vorgänge. Sie mögen nun dem Physiker gestatten, von seinem Standpunkte aus den umgekehrten Weg einzuschlagen, von einfachsten mechanischen Vorgängen zu verwickelteren vorzurücken und damit den Uebergang aus dem Reiche der unorganischen Materie in das Pflanzenreich und in das Tierreich aufzusuchen.

Es liegt in der Natur der Sache begründet, dass die seelischen Vorgänge der Zurückführung auf rein mechanische Vorgänge grössere Schwierigkeiten entgegensetzen als alle von uns in irgend einer Weise an Lebewesen unmittelbar wahrnehmbaren Vorgänge. Denn bei den einfachsten Lebewesen, bei welchen wir physikalische und chemische Vorgänge verhältnismässig gut auseinanderzuhalten und zu verfolgen vermögen, wissen wir von seelischen Vorgängen absolut nichts. Bei den höchst entwickelten Lebewesen, den Menschen selber, kennen wir dagegen zahlreiche Beobachtungen über die Seelenthätigkeit, während wir die überaus komplizierten physikalischen und chemischen Vorgänge in ihrem Körperinneren gar nicht mehr genügend zu überblicken im stande sind. Der Weg, den wir bei unseren Entwickelungen einzuschlagen haben, ist uns also ohne weiteres vorgezeichnet. Dementsprechend werde ich mit dem Aufbau der einfachsten möglichen Lebewesen beginnen. Ich werde zeigen, welche Ursachen wirksam sind, dass zuerst die kleinsten sichtbaren Lebewesen, die Protisten, dann durch Zusammenlagerungen von Zellen zu Zellenstaaten die Pflanzen und die Tiere, auch die Menschen entstehen, ohne dabei vorerst auf seelische Vorgänge Rücksicht zu nehmen. Daher darf auch in den entsprechenden Kapiteln keinem Vorgang, keiner Thätigkeit oder Handlung eine teleologische Bedeutung untergeschoben werden. Wenn ich Ausdrücke, wie zb. Nahrung, Auswählen, Auswahlvermögen, Selektion, Anpassung, Kampf ums Dasein, Zweckmässigkeit, die übrigens in der biologischen Litteratur allgemein gebraucht werden, auch da, wo jede Teleologie streng vermieden werden soll, gleichfalls

aufgenommen habe, so sind sie doch jeweilen nur in derjenigen rein mechanischen Bedeutung zu verstehen und auf die folgenden Entwickelungen zu übertragen, in welcher ich bei ihrer erstmaligen Anwendung dieselben erklärt bz. definiert habe, ohne Teleologie. Ihre Anwendung schien im Interesse der leichteren Verständlichkeit meiner Entwickelungen geboten. Erst die im dritten Teil des Buches erfolgende Darstellung der Entstehung des menschlichen Seelenlebens wird die volle Berechtigung der Anwendung jener Ausdrücke erkennen lassen. Sie wird auch das Verständnis für die in den einfacheren Lebewesen sich abspielenden seelischen Vorgänge eröffnen.

1. Kapitel

Theoretische Grundlagen.

Berechtigung des Atomismus.

In der Physik stehen sich namentlich zwei Anschauungen über die kleinsten Teilchen der Substanzen, über die Atome, gegenüber. Nach der einen, gewissermassen dynamischen Theorie sollen die Atome nur eine ideale, nicht eine reale Existenz haben, wie es die andere Theorie, der Atomismus, lehrt. Sie sollen nach jener Theorie nur mathematische Punkte sein, von denen Kräfte ausgehen. Es sind dies nämlich anziehende Kräfte, welche sich dem Newtonschen Gravitationsgesetz unterordnen, welche der zweiten Potenz der Entfernung umgekehrt proportional sind; sodann abstossende in verwickelterer Weise von der Entfernung abhängige Kräfte, etwa der fünften Potenz dieser Entfernung umgekehrt proportional. Um aber alle bekannten physikalischen und chemischen Vorgänge zu erklären, muss man solchen mathematischen Punkten noch mehr und noch kompliziertere Kräfte zuschreiben. Schon die Affinitätskräfte zeigen, dass wir mit dem einfachen Newtonschen Anziehungsgesetz der Atome nicht auskommen; es muss unter Umständen eine stärkere Anziehung als die eben genannte sich geltend machen. Analog verhält es sich mit den Kohäsions- und Adhäsionskräften. Optische, elektrische und magnetische Vorgänge führen zu noch verwickelteren Voraussetzungen über die von jenen mathematischen Kraftzentren ausgehenden Kräfte.

Weitaus die Mehrzahl der biologischen Forscher, aber auch die meisten Vertreter der sg. „exakten“ Naturwissenschaften haben sich mit solchen Atomen, welche nur als Kraftzentren, als mathematische Punkte, nicht real existieren sollen, nicht befreunden können. Es widerstrebt uns schon an und für sich,

einen mathematischen Punkt als Ursprungsort so ganz verschiedener und gleichzeitig wirkender Kräfte aufzufassen. Anderseits dürfen wir die räumlichen Atome nicht durch mathematische Punkte ersetzen, weil jede einer Potenz des Abstandes umgekehrt proportionale Zentralkraft, welche in endlichem Abstande vom Punkte noch endlich wäre, in diesem selber unendlich gross sein müsste. Die Existenz unendlich grosser Kräfte darf aber kein Physiker gelten lassen. Allerdings können wir nicht in Abrede stellen, dass alle Naturerscheinungen sich auch dann bildlich erklären lassen, wenn wir den real existierenden Atomen mathematische Punkte substituieren, welche mit einer genügenden Anzahl genügend komplizierter Kräfte ausgestattet sind. Eine solche Annahme darf aber nur für ein Bild verwendet werden; sonst würden wir uns vollständig in das Reich der Metaphysik begeben, wegen der unendlich grossen Kräfte. Ausserdem sind uns auch die real existierenden, mit Volumen begabten Atome leichter vorstellbar, als die nicht real existierenden. Mit jenen allein gelingt, wie es scheint, eine ungezwungene Erklärung aller bekannten Naturerscheinungen.

Grundlagen des Atomismus.

Im Sinne des Atomismus gehen wir aus von wirklich existierenden, einen bestimmten Raum erfüllenden, wägbaren Atomen, welche im freien unwägbaren Aether, im Weltäther, sich befinden. Jedes Atom denken wir uns umgeben von einer Hülle dichteren Aethers, welcher wir den flüssigen oder den festen Aggregatzustand zuschreiben. Das Atom selber muss elastisch sein, sonst kann es den bekannten physikalischen Erscheinungen nicht Genüge leisten. Es muss, wenn es — etwa durch Stosswirkungen — gewaltsam in andere Formen übergeführt worden ist, stets bestrebt sein, seine ursprüngliche Form, welche einer Gleichgewichtsgestalt entspricht, wieder anzunehmen. In analoger Weise zeigt die Aetherhülle eine eigene Elastizität; es sind in ihr Kräfte verborgen, welche bei ihrer Deformation während eines Zusammenstosses von Atomen auftreten, welche der Deformation entgegenwirken.

Grösse, Gestalt und Masse der Atome der verschiedenen chemischen Elemente sind in der Regel verschieden. Solche Atome können Kugelform haben, oder ellipsoidische, ovale, cylin-

drische Form, Plattenform, Stäbchenform, je nach dem Elemente, welchem sie angehören. In einem Elemente können die Atome unregelmässige, in einem anderen regelmässige Polyeder sein. Im allgemeinen werden die unregelmässigen Formen eine grössere Wahrscheinlichkeit für sich haben, als die regelmässigen, wegen ihrer grösseren Mannigfaltigkeit. Das Kohlenstoffelement zeigt beispielsweise gewisse Eigenschaften, aus welchen man auf eine asymmetrische Tetraederform desselben schliessen könnte[1]). (Fig. 1, die Aetherhülle, welche das Atom umgiebt, wird in ihrer äusseren Form der Atomform sich mehr oder weniger anpassen, wie dies in Fig. 1 beispielsweise für das asymmetrische Kohlenstoffatom angedeutet ist.) Andere Atomformen werden noch weit komplizierter sein. Nur unter diesen Annahmen lässt sich die Thatsache erklären, dass die chemischen Elemente im gasförmigen glühenden Zustande sehr viele verschiedenartige Lichtarten, Licht ganz verschiedener Farben, verschiedener Wellenlängen, dass sie ein mehr oder weniger zusammengesetztes Spektrum aussenden. Denn jeder ausgesandten Lichtart, jeder Wellenlänge des von einem solchen Elemente ausgestrahlten Lichtes muss ein ganz bestimmter möglicher Schwingungszustand in seiner Atomätherhülle entsprechen, welcher Ursache jener Lichtausstrahlung ist. Ganz besonders kompliziert ist das Spektrum der Eisenatome, und entsprechend kompliziert werden also auch die Atome des Eisens sein müssen.

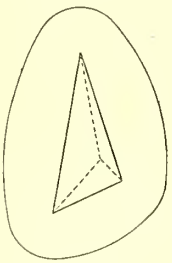


Fig. 1.

Die Aetherhüllen sind durch bestimmte Kräfte an die Atome gefesselt, und unter dem Einfluss dieser Kräfte führen ihre kleinsten Teilchen Schwingungen um gewisse Gleichgewichtslagen aus, wenn jene Aetherhüllen, wenn die in ihrem Innenraum befindlichen Atome durch äussere Kräfte, zb. etwa infolge von Zusammenstössen mit anderen Atomen, plötzlich vorübergehend deformiert worden sind. Diese Schwingungen der Aetherhüllen teilen sich dem umgebenden Aether mit, erzeugen in ihm die Lichtwellenbewegung. Physikalischen Anschauungen zufolge

[1]) Vgl. Van t'Hoff, Lagerung der Atome im Raume, 2. Aufl. Braunschweig 1894.

werden dieselben eingeteilt in Eigenschwingungen (das sind Schwingungen, welche die Aetherhülle, einmal deformiert, ihren inneren Kräften zufolge annimmt) und in erzwungene Schwingungen (das sind Schwingungen, zu welchen sie durch äussere Ursachen zwangsweise veranlasst wird). Wir wollen hier das Atom mit seiner Aetherhülle als ein zusammengehöriges Ganzes auffassen und demzufolge alle periodischen Schwingungen, welche in einer nur an ihr Atom gefesselten, im übrigen aber freien Aetherhülle möglich sind, als Eigenschwingungen dieser Aetherhülle bezeichnen.

Stossen zwei von ihren Aetherhüllen umgebene Atome vorübergehend aufeinander, fliegen sie also nach dem Stosse wieder auseinander, so werden hernach diese Aetherhüllen ihre Eigenschwingungen ausführen. Sie machen Schwingungen von ganz bestimmten Perioden, welche eben zu bestimmten Lichtarten, zu Aetherwellenbewegungen verschiedener Wellenlängen Veranlassung geben. Diese Schwingungen nehmen aber der Energieausstrahlung entsprechend an Intensität ab, sie erlöschen zuletzt vollständig. Ihre Amplituden, das heisst die Ausschlagsweiten der schwingenden Teilchen, vermindern sich bis zu völligem Verschwinden. Es sind somit die nach einem solchen Stosse in den Aetherhüllen ablaufenden Schwingungen sg. gedämpfte Schwingungen, ähnlich wie sie an einem in Bewegung gesetzten, nachher sich selber überlassenen Pendel beobachtet werden, dessen Ausschläge fortwährend abnehmen müssen, bis zum Stillstande des Pendels. Während aber diese Pendelschwingungen nicht vollkommen isochron ablaufen, so dass vielmehr die Schwingungsdauern eines Pendels bei starken Ausschlägen etwas grösser sind als bei schwachen, scheinen die Schwingungsdauern in den Aetherhüllen nach einem Zusammenstoss von Atomen trotz der Dämpfung fast unmerklich sich zu ändern; wenigstens hat man aus den Ergebnissen der Spektralanalyse vielfach auf Konstantbleiben der ausgesandten Lichtarten, auf Gleichbleiben der bt. Farben des Lichtes geschlossen.

Die Atome sind von ihren Aetherhüllen umgeben, diese aber von dem weniger dichten freien Aether, dem Weltäther, welcher auch als Lichtäther bezeichnet wird. Infolge ihrer Affinität vereinigen sich Atome in der Regel leicht zu Atomkomplexen,

zu Molekeln [1]), welche aus zwei oder mehr Atomen bestehen; die Atomätherhüllen werden dabei zu entsprechenden molekularen Aetherhüllen. Die Molekeln mancher organischer Substanzen sollen viele Tausende von einzelnen, zum Teil voneinander verschiedenen Atomen enthalten. — Bekanntlich kommen nur die Molekeln für die physikalischen Eigenschaften, aber auch die Atome selber für die chemischen Eigenschaften eines Körpers in Betracht.

Aggregatzustände.

Je nach der mehr oder weniger freien Beweglichkeit unmittelbar benachbarter Molekeln in Beziehung zu einander unterscheidet man den gasförmigen, den flüssigen und den festen Aggregatzustand. Von dem gasförmigen Aggregatzustand wollen wir eine anschauliche Vorstellung zu gewinnen suchen, wie folgt. Wir denken uns einen grossen parallelepipedischen Raum, dessen Grundfläche etwa ein Billardtisch sei. Die Seitenwände des Raumes reichen von den Billardkanten nach oben, sie seien 1—2 m hoch, und oben sei der Raum durch einen entsprechenden Deckel abgeschlossen. Auf dem Billard befinde sich eine Billardkugel, welche wir durch einen Stoss in grosse Geschwindigkeit versetzt haben. Die Kugel wird mehrmals an den elastischen Banden abprallen und in entsprechend geänderten Richtungen weiterrollen, bis sie wegen der auftretenden Reibung zur Ruhe kommt. Nun machen wir für unsere bildliche Vorstellung die Annahme, die Reibungsverluste seien so gering, so unmerklich, dass die Kugel auf dem Billard immer fortrolle, ohne jemals ihre Geschwindigkeit einzubüssen. Wir stossen sodann, ebenfalls mit grosser Geschwindigkeit, auf dem Billard eine zweite Billardkugel an, welche nun ihrerseits von Bande zu Bande rollt, ohne Unterlass. Hie und da karambolirt aber die zweite Kugel mit der ersten. Bei dem Zusammenstoss ändern in der Regel beide Kugeln nicht nur ihre Richtungen, sondern auch ihre Geschwindigkeiten. Es werde eine dritte, eine vierte Kugel auf dem Billard angestossen usf., alle mit sehr grossen Geschwindigkeiten. Demzufolge mögen schliesslich so viele Billardkugeln auf dem Billard

[1]) Nach O. E. Meyers Vorschlag ist die deutsche Nachbildung: „Molekel“ des lateinischen Wortes „molecula“ der halbfranzösischen Nachbildung: „Molecül“ oder „Molekül“ vorzuziehen.

hin und her rollen, dass alle Augenblicke, nach ganz kurzen frei durchlaufenen Wegstrecken, jede Kugel wieder mit einer anderen Kugel karamboliert, dass fast immer die gleichen, nahe den Banden befindlichen Kugeln gegen die Banden stossen. Alle Reibungsverluste durch Zusammenstösse und durch das Rollen auf der Billardfläche seien so überaus gering, dass dieses Spiel der Kugeln beliebig lange Zeit weitergehen könne.

Befände sich nun dieser betrachtete Raum nicht auf der Erdoberfläche, sondern irgendwo im freien Weltraum, im interplanetaren Raum, in sehr grossem Abstande von allen grösseren Weltkörpern (also etwa mitten zwischen Erde und Mars, wenn sie einander am nächsten, wenn sie in Konjunktion sind), so würde keine merkliche Schwerkraft auf diese Kugeln wirken. Wären ausserdem alle Wände dieses betrachteten Raumes ebenso elastisch wie jene Billardbanden, wären auch nirgends Energieverluste durch Zusammenstösse, durch Reibung usf. vorhanden, dann würden die zahlreichen Kugeln, mit grossen Geschwindigkeiten in einen solchen parallelepipedischen Raum hineingeworfen, an allen Wänden abprallen; sie würden untereinander karambolieren, also fortwährend von Stoss zu Stoss im Raume hin und her fliegen, nach allen Richtungen, nicht nur horizontal, wie unserer anfänglichen Vorstellung zufolge auf einem irdischen Billardtisch.

Nun denken wir uns, dieser Raum werde mit allen in ihm hin und her fliegenden Kugeln immer kleiner und kleiner. Die Kugeln werden dabei kleiner als die feinsten uns mit den besten Mikroskopen eben noch sichtbaren Stäubchen (etwa $^1/_{2000}$ mm); sie werden dann immer noch kleiner, bis sie zuletzt einen Durchmesser von nur etwa dem fünfmillionsten Teil eines Millimeters haben. Unser Raum mit den ungeheuer kleinen in ihm hin und her zuckenden Kügelchen giebt uns sodann ein getreues Bild eines kleinen Raumes, in welchem die Molekeln eines Gases sich bewegen. Ganz analog bewegen sich natürlich die Gasmolekeln in einem grösseren Raume, in welchem, dem Volumen entsprechend, bei gleicher Gasdichte eine um so grössere Molekelzahl enthalten ist. In der That ist die Reibung, welche die Bewegungen der Gasmolekeln zu vermindern sucht, eine so geringe, dass in einem Raume, welcher auf konstanter Temperatur gehalten wird, die beschriebene Bewegung in gleichmässiger Stärke andauert, solange die Temperatur sich nicht

ändert. Zu beachten ist indessen noch, dass nicht nur fortschreitende, sondern auch drehende Bewegungen bei den Kugeln vorkommen. Jedesmal, wenn zwei Kugeln sich nicht genau in geradem zentralem Stosse treffen, sondern in schiefem Stosse, wenn zb. die eine Kugel die andere in ihrem Fluge streift, müssen solche Drehungen erzeugt werden, und es müssen von da an die Kugeln sich weiter drehen, bis zu neuen Stössen. Es ist ferner zu beachten, dass in der Regel die Molekeln der Gase aus zwei oder mehr Atomen bestehen, so dass die inneren Bewegungen in ihnen entsprechend komplizierter werden.

Clausius hat den gasförmigen Aggregatzustand etwa in folgender Weise definiert: Die Molekeln des Gases besitzen sehr grosse fortschreitende Geschwindigkeiten, deren Werte er bereits für einige Gase berechnete [1]). Befinden sich die Molekeln, wie dies bei unseren Gasen unter Atmosphärendruck in der Regel der Fall ist, nicht in so überaus grosser Zahl in einem Raume, dass sie einander fortwährend berühren, so fliegen sie mit jenen grossen Geschwindigkeiten fast geradlinig weiter, bis sie mit anderen Molekeln oder mit Wandungen ihres Raumes zusammenstossen. Für die Zusammenstösse gelten die Stossgesetze, und nach den Stössen fliegen die Molekeln mit neuen Geschwindigkeiten auseinander. Weil die Stösse nicht immer gerade zentrale sind, weil vielmehr schiefe exzentrische Stösse eine unverhältnismässig grössere Wahrscheinlichkeit haben, als zentrische, übertragen die Molekeln Drehungskomponenten aufeinander: Die Molekeln rotieren deshalb in der Regel zwischen zwei Stössen mit entsprechenden Geschwindigkeiten um eigene durch ihre Mittelpunkte gehende Achsen. Weil sodann die Molekeln aus 2, 3, 4 . . . Atomen zusammengesetzt sind (Fig. 2, die Atome sind schematisch in den molekularen Aetherhüllen durch schraffierte Kreisflächen angedeutet), so müssen bei den Zusammenstössen zweier Molekeln in erster Linie einzelne Atome getroffen werden. Es werden dadurch die Atome jeder Molekel relativ zum Mittel-

Fig. 2.

[1]) Clausius, Pogg. Ann. **100**, S. 377, 1857 (im Mittel fand er für Luft bei 0° C. etwa 485 Meter in der Sekunde, also ungefähr die Geschwindigkeit einer Flintenkugel).

punkte der letzteren in Bewegung, sie werden in Schwingungen versetzt, so dass sie radial gegen diesen Mittelpunkt und von ihm weg schwingen, oder auch in geneigten Bahnen. Ferner werden die Atome — wiederum wegen der exzentrischen Stösse — eigene Drehungen oder drehende Schwingungen, Oscillationen, um eigene Drehungsachsen ausführen müssen. Endlich entstehen durch die Stösse zahlreiche Eigenschwingungen in den molekularen Aetherhüllen.

Wegen dieser vielfachen im Inneren einer Molekel, in ihren Atomen stattfindenden Bewegungsarten sind solche Molekeln oft als Planetensysteme im kleinen bezeichnet worden. Zwar kann man sich in dieser Weise ein ganz anschauliches Bild von den inneren molekularen Vorgängen machen. Man muss aber dessen eingedenk bleiben, dass dieses Bild nur ein annähernd richtiges sein kann. Bei Zusammenstössen der Molekeln stossen allerdings ihre Atome aufeinander; wegen der vollkommenen Elastizität der Atome und ihrer Aetherhüllen entfernen sich aber die Atome nach den Stössen wieder voneinander, so dass sie um gewisse Gleichgewichtslagen sich zu bewegen, zu schwingen scheinen. Planeten, welche in die Sonne gestürzt sind, bleiben dagegen in ihr, finden keinen Rückweg mehr. Sie werden in der Sonne aufgelöst, in ihre kleinsten Teilchen zerlegt. Ihre Bestandteile mischen sich innig mit den Bestandteilen der Sonne, wobei die mechanische Energie ihrer fortschreitenden Bewegung in andere Energieformen, in Wärme, in Licht, in Elektrizität umgewandelt wird. Analog würden zwei Planeten, welche sich bis zum Zusammenstoss einander genähert hätten, nach einem solchen sich nicht mehr bleibend voneinander trennen können.

Die Bewegungsvorgänge in den Molekeln eines flüssigen und in denjenigen eines festen Körpers sind weit unregelmässiger und verwickelter als in denjenigen eines Gases, weil jene Molekeln zwischen zweien ihrer Zusammenstösse keine oder nur unmerkliche freie Bahnen beschreiben. Aber analoge Bewegungen wie in den Molekeln der Gase finden doch auch in denen der flüssigen und der festen Körper, in ihren Atomen statt. Man muss sich daher vorstellen, dass in allen unseren Körpern, ganz abgesehen von dem Aggregatzustande, in welchem sich dieselben befinden, die Molekeln und die Atome in mehr oder weniger lebhaft zuckender bz. schwingender Bewegung begriffen sind und dass

ihre molekularen Aetherhüllen dementsprechend immer wieder in mannigfaltigste Schwingungsbewegungen versetzt werden. Durch Ausstrahlung solcher Schwingungsbewegungen kommen in der Umgebung der Molekeln Wellenbewegungen zu stande, welche als Licht zu bezeichnen sind, auch dann, wenn wir wegen zu geringer Intensität dieses Licht mit keinen Mitteln mehr nachzuweisen vermögen.

Magnetische und elektrische Kräfte.

Von den uns bekannten Substanzen zeigen einige, wie Eisen, Nickel, Kobalt usf. magnetische Eigenschaften. Man nimmt an, dass die Molekeln dieser Substanzen sich ganz so verhalten, wie Magnete von entsprechend geringer Grösse, wie Elementarmagnete, dass sie also zwei magnetische Pole besitzen, einen Nord- und einen Südpol. Durch genaue Messungen hat man festgestellt, dass alle Substanzen mehr oder weniger magnetisch sind. Daraus schliessen wir, dass im allgemeinen alle Molekeln zwei magnetische Pole besitzen, je einen Nord- und einen Südpol. Indessen sind in der Regel die magnetischen Polstärken für jede Substanz verschieden.

Man hat sich endlich in neuerer Zeit veranlasst gesehen, die Annahme zu machen, die Molekeln haben in ihren verschiedenen Atomen verschiedene elektrische Ladungen. Dementsprechend muss jede Molekel im allgemeinen mindestens noch zwei elektrische Pole aufweisen, einen positiven und einen negativen Pol. Sind die Stärken des positiven und des negativen elektrischen Pols einer Molekel gleich, so sind die bt. Wirkungen der ganzen Molekel nach aussen in verhältnismässig geringen Abständen unmerklich. Analog verhält es sich mit den magnetischen Polen.

Auf diesen im Atomismus mehr oder weniger durchweg üblichen Vorstellungen wollen wir für die Folge weiter bauen. Wir wollen die Zusammenlagerungen der Atome zu Molekeln, der Molekeln zu Körpern genau verfolgen. Wir wollen den Aufbau der anorganischen und der organischen Stoffe, der unorganisierten und der organisierten Substanzen und Körper kennen lernen. In überraschender Einfachheit wird sich die erste Entstehung des Lebens mit seinen wichtigsten oder doch

auffälligsten Funktionen: Wachstum, Stoffwechsel und Fortpflanzung, als notwendige Konsequenz aus unseren Grundannahmen ergeben.

*Mechanische Grundlagen.

In der Aufstellung dieser Vorstellungen, welche wir als unsere theoretischen Grundlagen dem Atomismus entnommen haben, stecken zahlreiche Annahmen, wie leicht zu erkennen ist. Noch viel mehr Annahmen müssen gemacht werden, wenn auch nur die wichtigeren von den bekannten physikalischen und chemischen Vorgängen aus solchen Grundlagen des Atomismus entwickelt und erklärt werden sollen. Man wird also geneigt sein, die Frage aufzuwerfen, ob denn wirklich zur Erklärung der Natur mit ihren mannigfaltigen Vorgängen so vielerlei verschiedene Annahmen nötig seien? Diese Frage hat ganz gewiss eine grosse Berechtigung.

Sodann mag eingewandt werden, es sei als meine Absicht bezeichnet worden, aus mechanischen Grundlagen die Entstehung des Lebens zu entwickeln, und doch seien weiter oben unter den Grundlagen aufgeführt die Annahmen von magnetischen und elektrischen Kräften in den Molekeln selber, welche Kräfte aber bis dahin noch nicht auf ihre wahren mechanischen Ursachen zurückgeführt seien.

Es würde zu weit in die Tiefen physikalischer und mechanischer Betrachtungsweise und für den Biologen zu ganz unnötigen Weitschweifigkeiten führen, wenn wir uns hier auf die allernotwendigsten mechanischen Voraussetzungen beschränken müssten. Vielmehr wollen wir unsere Entwickelungen auf jener breiteren oben gewählten Basis beginnen. Ich kann aber nicht umhin, hier wenigstens zu erwähnen, dass die Zurückführung aller wichtigeren physikalischen und chemischen Vorgänge auf sehr wenige und auf denkbar einfachste mechanische Vorgänge in meinem vor nahezu zwei Jahren erschienenen Buche[1]) wirklich gelungen ist. Es hat diese Zurückführung zu überaus anschaulichen verhältnismässig einfachen Vorstellungen über das Zustandekommen der verschiedensten Kräfte, über das Wesen der von uns beobachteten Naturvorgänge, insbesondere auch über das Wesen der Elektrizität und des Magnetismus geleitet.

[1]) L. Zehnder, Mechanik des Weltalls (Freiburg i. B., Leipzig und Tübingen 1897. J. C. B. Mohr (Paul Siebeck).

Weil die biologischen Forscher doch für die Art und für die Sicherheit der physikalischen Grundlagen, auf welchen sie weiterbauen, ein hervorragendes Interesse haben, will ich wenigstens in aller Kürze hier auseinandersetzen, wie ich bei meinen eben erwähnten Entwickelungen von rein mechanischen Grundlagen aus vorgegangen bin und wie die für weitere Ausführungen nötigen Vorstellungen sich aus den tiefsten Grundlagen ableiten und begreifen lassen. Ich muss aber nochmals bemerken, dass die Kenntnis meiner genannten Entwickelungen, so wenig dieselben dem Verständnis, auch von Nichtphysikern, grössere Schwierigkeiten entgegensetzen, dennoch für meine hier beabsichtigten biologischen Ausführungen nicht erforderlich ist. Vielmehr benutze ich in diesem Buche nur die oben auseinandergesetzten Vorstellungen, welche dem Atomismus ohne mein Eingreifen entsprungen sind, obwohl die nötige einfache Basis derselben bis dahin gefehlt hat.

Meine Grundannahme ist folgende: In einem dreidimensionalen, das heisst nach drei zu einander senkrechten Richtungen unendlich ausgedehnten Raume befinde sich Materie, welche in ihrer Gesamtmasse endlich und begrenzt ist, deren einzelne kleinste Teilchen, die Atome, gleichfalls ihrer Masse, ihrem Volumen und ihrer Gestalt nach begrenzt sind. Diese Atome gehören teils der wägbaren Materie, den chemischen Elementen an, teils der mittels unserer Messinstrumente unwägbaren Materie, dem Weltäther. Prinzipielle Unterschiede zwischen wägbarer und unwägbarer Materie existieren übrigens nicht. Alle diese kleinsten materiellen Teilchen sind undurchdringlich; sie üben anziehende Kräfte aufeinander aus, nach Massgabe des Newtonschen Gravitationsgesetzes.

Dass alle materielle Substanz vollkommen elastisch deformierbar sein muss, folgt aus mathematischen Ueberlegungen bezüglich der bei Zusammenstössen der Atome auftretenden Geschwindigkeiten. Weil der freie Weltäther im Vergleich zu allen uns bekannten wägbaren Substanzen eine ungemein geringe Dichte besitzt, weil er ausserdem allen in ihm sich bewegenden Körpern, von den kleinsten Atomen und Molekeln unserer Gase bis zu den ungeheuren Weltkörpern unserer Sternenwelt, einen bis dahin unmessbar geringen Widerstand entgegensetzt, ist demselben schon von älteren Forschern der gasförmige Aggregat-

zustand zugeschrieben worden, welchen Clausius in vorzüglicher Weise für wägbare Substanzen definiert hat. Dieser Annahme schloss ich mich an. Um freie wägbare Atome und Molekeln müssen sich aber — vermöge der Newtonschen Attraktionskraft, welche zwischen allen Atomen wirksam ist — dichtere Aetherhüllen bilden. Der Aether in solchen Hüllen befindet sich im flüssigen oder im festen Aggregatzustande.

Clausius bezeichnete diejenige Bewegung in Gasen, welche in unregelmässigen Hin- und Herzuckungen der Molekeln, von Stoss zu Stoss, sowie in ihren dadurch hervorgerufenen Gesamtdrehungen und in ihren inneren unregelmässigen Atombewegungen besteht, als Wärme der Gase. Periodische Bewegungen grösserer Molekelkomplexe, zb. Hin- und Herschwingungen ganzer Molekelgruppen, bezeichnen wir als Schall. Ganz analoge Bewegungen müssen nun in dem gasförmigen Weltäther zu stande kommen. Geleitet durch zahlreiche zwischen den physikalischen Grunderscheinungen hervortretende Analogien habe ich den in Clausius' Sinne einer „Wärme" des Aethers entsprechenden Bewegungsvorgang der Aetheratome als Elektrizität, den einem „Schalle" des Aethers entsprechenden Bewegungsvorgang ganzer Aetheratomkomplexe als Licht definiert.

Führt man die Lichtgeschwindigkeit in die Theorie des gasförmigen Weltäthers ein, so erhält man ungeheuer grosse fortschreitende Geschwindigkeiten der Aetheratome. Daraus folgt, dass trotz geringer Aetherdichte ein ganz bedeutender Aetherdruck auf allen Oberflächen materieller Atome und Molekeln lasten muss. Dieser Druck verursacht, wie einfache Ueberlegungen zeigen, die Kräfte der Affinität, welche die wägbaren Atome zu Molekeln vereinigt, die Kräfte der Kohäsion und der Adhäsion, welche ganze Molekeln aneinander pressen. Er erklärt uns also die sg. Molekularkräfte; er erklärt uns ferner die Oberflächenspannung usf. Aus meinen Vorstellungen über das Wesen der Elektrizität und des Lichtes im gasförmigen Aether leiten sich sodann die bekannten elektrischen, magnetischen und optischen Grunderscheinungen in wägbaren Substanzen in ungezwungener Weise ab. Existiert in einer Molekel oder sogar in einem einfachen Atom eine Mittelebene, bezüglich welcher — zb. wegen der Oberfläche, wegen der Massenverteilung — die Anordnung der elastischen, die Aetherhülle an die wägbare Materie fesselnden

Kräfte keine Symmetrie zeigt, so treten (vermöge der von aussen erfolgenden Stösse freier Aetheratome auf die molekulare Aetherhülle) zu beiden Seiten dieser Mittelebene im allgemeinen ungleiche elektrische Ladungen auf. Es müssen dadurch elektrische nach aussen zur Wirkung gelangende Pole in der Molekel entstehen. Sind aus analogen Gründen die elastischen Kräfte rings um eine Mittellinie einer Molekel oder eines Atoms bezüglich aller Ebenen durch diese Mittellinie unsymmetrisch verteilt, so wird infolge jener Aetherstösse die Molekel oder das Atom magnetisch. Die Molekel erhält zwei magnetische Pole, wie ich solches vermittelst der Theorie des gasförmigen Weltäthers nachgewiesen habe[1]).

[1]) Mechanik des Weltalls, S. 77.

2. Kapitel

Wachstum und Struktur.

A. Molekeln.

Molekelbildung aus gleichartigen Atomen.

Wir beginnen mit dem einfachsten Vorgang, verfolgen zuerst einzelne freie wägbare Atome, welche sich im freien Aether gegeneinander bewegen und aufeinander stossen. Lagern sich solche Atome zusammen, so bilden sie durch ihre Vereinigung Molekeln (Fig. 2), und durch die Zusammenlagerung von Molekeln entstehen Molekelaggregate, Körper. Der Vorgang der Anlagerung ist Wachstum. Indessen ist es notwendig, auf diesen ganz einfach scheinenden Vorgang näher einzugehen, namentlich auch zwischen der Anlagerung gleicher Teilchen und ungleicher Teilchen scharf zu unterscheiden.

Zwei gleiche Atome, welche wir uns der Einfachheit halber zuerst kugelförmig denken wollen, umgeben von ihren Aetherhüllen, mögen dem gasförmigen Aggregatzustande entsprechend mit grossen Geschwindigkeiten direkt gegeneinander sich bewegen und in zentralem Stosse aufeinander treffen. Die Aetherhüllen und die Atome selber deformieren sich während des Stosses, entwickeln dementsprechend abstossende elastische Kräfte, welche die Atome wieder auseinanderzutreiben bestrebt sind. Hat die Intensität des Zusammenstosses eine gewisse Grenze überschritten, so fliegen die Atome nach dem Stosse in der That (abgesehen von Stossverlusten) mit ausgetauschten Geschwindigkeiten, nach Massgabe der Stossgesetze, wieder auseinander.

Während des Stosses sind beide Aetherhüllen und ebenso beide Atome jeden Augenblick in gleicher Weise deformiert. Nach dem Stosse werden daher beide Atome und beide Aetherhüllen in gleichem Rhythmus, also isochron, gegeneinander

schwingen um ihre Gleichgewichtsgestalt. Jedes kleinste Teilchen der Atome und der Aetherhüllen wird um seine eigene Gleichgewichtslage schwingen, so lange, bis alle in diese Schwingungsbewegung hineingelegte, vom Stosse herrührende Energie aufgebraucht, als Licht in den umgebenden Raum ausgestrahlt ist. Diese Schwingungsbewegung ist unserer früheren Bezeichnungsweise entsprechend gedämpft, das durch sie in den Raum hinausgesandte Licht ist eine gedämpfte Aetherwellenbewegung.

Wegen der überaus grossen Beweglichkeit der Aetherhüllen, das heisst wegen der grossen Geschwindigkeiten, welche die äusserst leichten kleinsten Teilchen dieser Hüllen anzunehmen vermögen, sind die Deformationen der Aetherhüllen nicht langsam, sondern ungemein rasch veränderlich. Während eines einzigen Zusammenstosses zweier gleicher Atome werden ihre Aetherhüllen eine grössere Zahl von Schwingungen in entgegengesetzten Richtungen ausführen, wie dies durch die Fig. 3 A deutlich gemacht werden soll [1]). In dieser Figur sind die Atome durch schraffierte Kreisflächen, ihre Aetherhüllen durch grössere Kreise oder durch Kurven um dieselben dargestellt und zwar begrenzen die ausgezogenen Kurven die Aetherhüllen in ihren grössten Ausschlägen nach einer Seite hin (nach aussen), die punktierten dagegen in denjenigen nach der anderen Seite hin (nach innen). Man erkennt, dass bei genügender Annäherung beider Atome (Fig. 3 A) die elastischen Aetherhüllen bei ihren Schwingungsbewegungen bald sich kaum noch berühren, bald stark aufeinanderdrücken, dass sie also in letzterem Falle elastische abstossende Kräfte entwickeln, welche die beiden Atome auseinanderzutreiben suchen. In Fig. 3 B sind dagegen die Atome so weit auseinandergerückt, dass trotz der starken Schwingungen

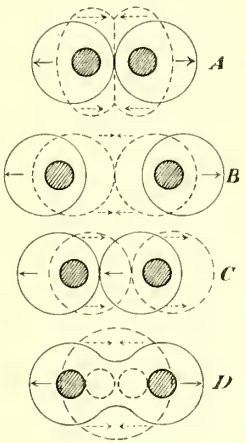


Fig. 3.

[1]) Solche Aetherhüllenschwingungen während der Dauer eines Zusammenstosses von Atomen müssen möglich sein, ebenso wie ein tönender Körper, zb. eine Glocke, beim Anschlagen mit einem Hammer schon einen Ton erkennen lässt, bevor noch der Hammer von der Glocke abgehoben worden ist.

ihrer Aetherhüllen diese kaum mehr zur Berührung gelangen. Eine abstossende Wirkung wird in diesem Falle nicht mehr auf die Atome ausgeübt. Wird endlich die Phase der einen schwingenden Aetherhülle durch irgend eine innere oder äussere Ursache gerade um so viel geändert, als einer halben Schwingungsdauer derselben entspricht, mit anderen Worten: schwingen die Aetherhüllen beider Atome synchron und gleichzeitig in gleichen Richtungen hin und her, wie dies in Fig. 3C dargestellt ist (schwingen sie jetzt in gleicher Phase, während sie vorher nach den Fig. 3A und B in entgegengesetzter Phase schwangen), so hören die elastischen abstossenden Kräfte, welche die Aetherhüllen aufeinander ausüben, schon in kleineren Abständen der Atome voneinander auf, wie aus der Abbildung 3C im Vergleich zu 3B deutlich hervorgeht. Denn in C können die Atome einander mehr genähert werden bis zur blossen Berührung der schwingenden Aetherhüllen, als in B.

Das wesentliche Resultat dieser Betrachtung ist das folgende: Solange die Aetherhüllen zweier gleicher Atome gegeneinander schwingen, in entgegengesetzter Phase, suchen sie sich und ihre Atome weiter voneinander abzustossen, als wenn sie miteinander, in gleicher Phase schwingen, im übrigen immer Isochronismus der Schwingungen vorausgesetzt. Nun sind aber die Aetherhüllenschwingungen zweier frei und zentral mit gleichen Geschwindigkeiten aufeinanderstossender gleicher Atome isochron, gleich stark und entgegengesetzt gerichtet, von entgegengesetzter Phase (Fig. 3A und B). Also stossen sich solche Atome, wenn die Geschwindigkeiten ihres Zusammenstürzens nicht gar zu geringe gewesen sind, immer wieder so weit ab, dass sie mit entsprechend grossen Geschwindigkeiten auseinanderfliegen. Ist dagegen die Phase der einen Aetherhüllenschwingung geändert worden, etwa durch ein zufällig in der Nähe befindliches drittes Atom, sind dadurch die Phasen beider Aetherhüllenschwingungen gerade gleich geworden, so hören die abstossenden Kräfte früher auf (Fig. 3C). Unter Umständen geschieht letzteres, bevor das eine Atom eine entgegengesetzte Geschwindigkeitskomponente von solcher Grösse erhalten hat, dass sich dasselbe dem Bereiche der Anziehung des anderen Atoms wieder entziehen könnte. Die beiden Atome bleiben dann aneinandergefesselt. Sie lagern sich zu einem Atomkomplexe, zu einer Molekel zusammen. Ihre

Aetherhüllen platten sich an den einander zugewandten Flächen ab, nehmen um die ganze Molekel herum eine mehr oder weniger abgerundete Form an. Sie bilden zusammen von nun an eine einheitliche molekulare Aetherhülle, deren äussere Form indessen mit den fortwährenden Atomschwingungen selber stark veränderlich ist, wie Fig. 3D beispielsweise zeigen mag, in welcher die beiden Atome in ihrem grössten Abstande ausgezogen, in ihrem kleinsten Abstande punktiert eingezeichnet sind.

Stösst nun ein drittes gleichartiges Atom auf die Molekel, so wird die Aetherhülle dieser letzteren durch den Stoss wiederum in Schwingungen versetzt. Fassen wir dabei die molekulare Aetherhülle auf als Summe ihrer beiden Atomätherhüllen, so müssen die letzteren jetzt annähernd in gleicher Phase schwingen, weil sie ein von Anfang an zusammenhängendes Ganzes bilden. Jenes dritte Atom kann also den Verband der beiden vorher zur Molekel zusammengetretenen Atome nur lösen, wenn es mit überaus grosser Geschwindigkeit bei der Molekel angekommen, eine entsprechend grosse Energie an sie übertragen hat. Es wird aber das dritte Atom sich an die beiden anderen anlagern, wenn durch einen inneren oder äusseren Einfluss die Phase seiner Aetherhüllenschwingungen um so viel geändert wurde, dass diese nunmehr derjenigen der Atomätherhüllen jener Molekel gleich ist.

In solcher Weise legt sich Atom an Atom. Es bilden sich grössere und grössere Atomkomplexe, ganze Körper, wenn die Atomformen derartige sind, dass an mehreren ganz verschiedenen Stellen eines Atoms sich andere Atome anlagern können, und wenn nur diese eine Art von Atomen im betrachteten Raume überhaupt vorhanden ist. Sind dagegen die Begrenzungsflächen der Atome nicht in solcher Weise beschaffen, so wird auch die Zusammenlagerung der Atome eine andere sein.

Gewisse Atomarten bilden Atomkomplexe von zwei Atomen, welche fester zusammenhängen, als alle weiteren an dieses Paar herantretenden Atome. Wir sind gewohnt, solche Komplexe Molekeln zu nennen. Andere Atomarten bilden zu dreien eine Molekel, andere zu vieren, zu sechsen usf. Erst durch die Zusammenlagerung solcher Molekeln entsteht hernach der Körper. Durch Zusammenlagerung gleichartiger Atome entsteht ein chemisch einfacher, nur aus einem Elemente bestehender Körper.

Haben sich zwei oder mehr Atome zu einer Molekel zu-

sammengelagert, so sind die Eigenschwingungen ihrer molekularen Aetherhülle nicht eine einfache Uebereinanderlagerung der Eigenschwingungen der ursprünglichen Atomätherhüllen. Sie sind es zwar um so mehr, je weiter die Atome bei ihren Schwingungen voneinander abstehen (Fig. 3 D, ausgezogene Kurven), aber um so weniger, je näher sich die Atome dabei kommen (Fig. 3 D, punktierte Kurven). Denn durch die Zusammenlagerung der Atome zur Molekel sind die elastischen Kräfte, welche die Aetherhülle an die Atome, an die ganze Molekel fesseln, andere geworden; den anderen Kräften entsprechen neue Schwingungsbewegungen, neue Perioden der Aetherhüllenschwingungen, welch letztere bei jedem Zusammenstosse der Molekel mit einer anderen Molekel oder mit einem weiteren Atome auftreten. Daher werden — auch ganz ohne äussere Einflüsse — die Phasen der Schwingungen eines dritten Atoms und der beiden vorher zur Molekel vereinigten Atome bei nicht gar zu kurzer Berührung bald von selbst gleich. Es legt sich dann ein drittes Atom leichter an ein Doppelatom an, als sich die beiden Atome des letzteren selber aneinanderlagerten.

Molekelbildung aus ungleichartigen Atomen.

Stossen zwei ungleichartige Atome zusammen, so werden ihre Aetherhüllen dabei gleichfalls in Schwingungen versetzt, und bei grösster Annäherung beider Atome werden wir einen Schwingungszustand ihrer Aetherhüllen erhalten, welcher wiederum durch Fig. 3 A dargestellt werden mag. Indessen sind diese Atome ungleichartig, die elastischen ihre Aetherhüllen fesselnden Kräfte sind daher verschieden. Also sind auch die Schwingungszahlen der beiden Aetherhüllenschwingungen verschieden. Es kann leicht der Fall eintreten, dass die Phasen beider Aetherhüllenschwingungen vor dem völligen Auseinanderweichen beider Atome sich um den einer halben Schwingungsdauer entsprechenden Betrag geändert haben. Dann schwingen beide Aetherhüllen einen Augenblick in gleicher Phase, sie stossen sich nicht mehr ab. Die beiden Atome werden weniger heftig auseinandergetrieben, infolge der Eigenschwingungen ihrer Aetherhüllen, als wenn sie ganz gleichartige Atome gewesen wären. Solche ungleichartige Atome lagern sich demnach im allgemeinen schneller aneinander an, als gleichartige.

Stabilität der Molekeln eines Gases.

Wird eine aus zwei ungleichartigen Atomen gebildete Molekel von anderen Atomen oder von anderen Molekeln in Stössen getroffen, so werden ihre Atomätherhüllen stets wieder ihre Eigenschwingungen mehr oder weniger auszuführen suchen, bei welchen die Phasen abwechselnd gleich und ungleich sind (Fig. 3 C und A). Es geht daraus hervor, dass, wenn auch öfters zwei ungleichartige Atome leichter zu einer Molekel sich zusammenlagern, als zwei gleichartige Atome, doch die letzteren, wenn sie einmal miteinander sich verbunden haben, in der Regel ein stabileres System, eine stabilere Molekel bilden, als die ersteren.

Von dieser Regel muss es Ausnahmen geben: Die Atomformen gewisser chemischer Elemente können derartige sein, dass sich die Atome dieser Elemente leichter an die Atome gewisser anderer Elemente anlagern, als an die ihnen gleichen Atome. Oder es können die Elastizitätsverhältnisse in zwei ungleichartigen Atomen solche sein, dass die beiderseitigen Atomätherhüllen leicht in gleicher Periode schwingen, und dass sich infolgedessen die Atome, wenn einmal eine Aneinanderlagerung zu stande gekommen ist, fest aneinanderschmiegen. Oder man kann sich vorstellen, es seien in einer Molekel mehrere Atome in der Weise aneinandergefesselt, dass sie sich in ihren Schwingungen gar nicht beeinträchtigen, dass sie durch dieselben vielleicht sogar den gegenseitigen Zusammenhalt unterstützen. Wären zb. zwei Paare von jeweilen gleichartigen Atomen auf zwei zu einander senkrechten Mittellinien symmetrisch zu einander gelagert, und würden sie so miteinanderschwingen, dass in einer Mittellinie die beiden Atome des einen Paares in demselben Augenblicke auseinanderschwingen, in welchem in der dazu senkrechten Mittellinie die beiden Atome des anderen Paares gegeneinanderschwingen (Fig. 4 A), so könnten solche Atome eine sehr stabile Molekel bilden. Trotz heftiger Stösse von aussen würde diese Molekel einen festeren Zusammenhalt bewahren,

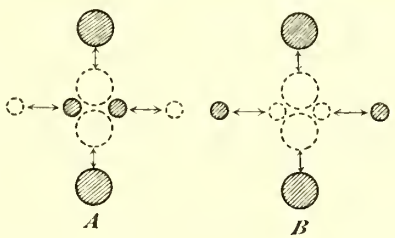


Fig. 4.

als wenn etwa in derselben alle vier Atome gleichzeitig nach innen, aber auch gleichzeitig nach aussen schwängen (Fig. 4 B). (Wie in Fig. 3 entsprechen auch hier die ausgezogenen Kreise der einen, die punktierten Kreise der anderen um eine halbe Schwingungsdauer verschiedenen Phase der Schwingungen der Atome; die Aetherhüllen sind nicht eingezeichnet.)

Kampf ums Dasein unter den Molekeln eines Gases.

Sind in einem gegebenen Raume zahlreiche verschiedenartige Atome vorhanden, welche dem Gaszustande entsprechend mit grossen fortschreitenden Geschwindigkeiten begabt sind und aufeinander stossen, welche somit hin und her zucken, so lagern sie sich nach Massgabe der Zusammenstösse und der auftretenden Affinitätskräfte zu Molekeln aus gleichartigen oder zu solchen aus ungleichartigen Atomen zusammen. Ist und bleibt dabei die Temperatur dieser gasförmigen Substanzen eine genügend hohe, sinkt sie nicht bis nahe zu dem Kondensationspunkte derselben herab, so findet ein fortwährender Kampf aller so entstandenen Molekeln untereinander statt. Durch Zusammenstossen mit anderen Molekeln oder mit anderen Atomen werden ihre Atome, ihre Aetherhüllen in Schwingungen versetzt. Deshalb treten nach solchem Stosse zwischen den Atomen einer Molekel grössere abstossende Kräfte auf, als zuvor, welche Kräfte sogar wieder zur Auflösung der Molekel in ihre Atome führen können, wenn jener Stoss ein genügend heftiger war. Dass aber im betrachteten Raume unter den Molekeln eines Gases alle möglichen Stosswirkungen vorkommen, sehr heftige, mittlere und sehr schwache, lehren in einfacher Weise die Stossgesetze.

Ist die Temperatur der betrachteten Gase eine sehr hohe und sind die Zusammenstösse der Molekeln genügend heftige, so können gar keine Molekeln bleibenden Bestand haben. Alle einmal gebildeten Molekeln zerfallen bald wieder, sie dissoziieren sich. Ist umgekehrt die Temperatur genügend tief, so können sich alle möglichen Atome aneinander lagern, ohne dass ihnen bei der gegenseitigen Anlagerung ein besonderes Auswahlvermögen zukäme. Bei einer bestimmten mittleren Temperatur hat aber eine bestimmte molekulare Atomkombination eine grössere Stabilität als alle anderen aus denselben Atomen gebildeten Kombinationen, nach Massgabe der Affinitätskräfte.

Bei der Molekelbildung infolge der Zusammenstösse werden daher alle von jener bestimmten Atomkombination abweichenden weniger stabilen Kombinationen immer wieder aufgelöst, bis zuletzt möglichst viele von den vorhandenen Atomen zu den stabilsten Molekeln zusammengetreten sind.

So kämpfen bei passenden mittleren Temperaturen die verschiedenen Molekeln untereinander einen Kampf ums Dasein; in diesem Kampfe siegen die stärkeren, diejenigen Molekeln nämlich, welche für die bt. Temperatur die stabilsten sind, welche bei derselben die widerstandsfähigste Substanz bilden. Bei gewissen Temperaturen können mehrere Substanzen gleichzeitig nebeneinander bestehen bleiben, ihre Molekeln können genügend stabil sein, weil die Affinität, welche dem Zerfall der Molekel in ihre Atome entgegenwirkt, wie oben schon hervorgehoben wurde, um so stärker zur Geltung kommt, je tiefer die im Versuchsraum herrschende Temperatur ist.

Aenderungen der Affinität.

Wir haben durch diese Ausführungen nachgewiesen, dass die Affinität eine Funktion der Temperatur sein muss, weil der Zusammenhalt der Atome zu Molekeln abhängig ist von der Heftigkeit der Zusammenstösse der Atome und der Molekeln; diese ihrerseits ist abhängig von der fortschreitenden Geschwindigkeit der Molekeln des gasförmigen Körpers, durch welche man die Temperatur selber definiert hat. Die Affinität ist ausserdem eine Funktion des Lichtes, mit welchem die Atome und Molekeln bestrahlt werden. Sind nämlich in dem zugestrahlten Lichte Wellenlängen vorhanden, welche den Eigenschwingungsdauern der Atom- oder der molekularen Aetherhüllen entsprechen, so absorbieren diese Aetherhüllen infolge der Resonanz die bt. Wellenbewegungen stärker als alle anderen. Sie nehmen selber stärkere Schwingungsbewegungen an, und die Affinität, welche die Atome zur Molekel verbindet, wird in entsprechender Weise vermindert, also geändert. Im allgemeinen wird dasselbe Licht die Affinität verschiedener Atome zu einander in verschiedener Weise beeinflussen, wegen der verschiedenen Eigenschwingungsdauern der verschiedenen Atomätherhüllen, so dass unter dem Einflusse zugestrahlten Lichtes andere Atomverbindungen die stabilsten sind im Kampf ums Dasein,

als ohne diesen Einfluss. Dass die Elektrizität einen analogen Einfluss auf die Affinität haben, dass auch sie die Affinität zu ändern im stande sein muss, wurde schon an anderem Orte[1]) von mir gezeigt.

Stabilität und Kampf ums Dasein unter den Molekeln einer Flüssigkeit.

Bis dahin haben wir nur die Bewegungsvorgänge in gasförmigen Substanzen ins Auge gefasst. In Flüssigkeiten sind aber diese Vorgänge ihrem Wesen nach nicht sehr verschieden. Auch in ihnen zucken die Molekeln in heftiger Bewegung hin und her. Sie stossen fortwährend gegeneinander, versetzen dadurch gegenseitig ihre Atome, die molekularen, die Atomätherhüllen in Schwingungsbewegungen, wobei nur im Vergleich zu den gasförmigen Substanzen das freie Fliegen der Flüssigkeitsmolekeln zwischen zwei Zusammenstössen mit den Nachbarmolekeln unmerklich geworden, auf ein Minimum reduziert worden ist. Ausserdem werden die Molekulargeschwindigkeiten in Flüssigkeiten im allgemeinen geringere Werte haben als in ihren Gasen. Diese geringeren Geschwindigkeiten haben eine grössere Stabilität der entstandenen Molekeln zur Folge, und es wird leichter in Flüssigkeiten als in Gasen der Fall vorkommen, dass eine grössere Zahl von verschiedenen Atomkombinationen, von verschiedenen Molekeln unter gleichbleibenden äusseren Verhältnissen Stabilität genug besitzt, um in dem auch hier bestehenden Kampf ums Dasein ihre Selbständigkeit längere Zeit oder immer zu bewahren. Bei der leichten Verschiebbarkeit der Molekeln von Flüssigkeiten relativ zu einander erhalten wir in diesem Falle eine Mischung von Flüssigkeiten, eine Lösung einer Substanz in einer Flüssigkeit.

Bildung bestimmter Molekelaggregate; Osmose.

Wie sich unter Umständen ungleichartige Atome zu ebenso stabilen oder zu stabileren Molekeln zusammenlagern können, als gleichartige, so können auch ungleichartige Molekeln, zb. in Flüssigkeitsgemischen, in Lösungen, sich ganz besonders eng

[1]) Mechanik des Weltalls, S. 68.

aneinanderlagern. Sie bilden dann entweder eine neue Molekel mit neuen Eigenschaften, lassen eine neue chemische Substanz entstehen, oder sie verbinden sich sonst sehr fest miteinander. Auch in letzterem Falle scheinen solche Molekeln eine neue eigenartige Anziehungskraft aufeinander auszuüben. Das Lösungsmittel zieht den gelösten Körper an und umgekehrt, so lange, bis eine gewisse günstigste Konzentration erreicht ist. Legen sich nämlich in einem Flüssigkeitsgemische zwei verschiedenartige Molekeln fest und bleibend aneinander, so üben diese verbundenen Molekeln nicht mehr den gleichen Einfluss auf die Molekeln ihrer Umgebung aus, wie sie ihn zuvor, infolge der immerwährenden Zusammenstösse der Molekeln unter einander und im Kampf ums Dasein zwischen denselben, ausgeübt hatten. Die Konzentration der frei gebliebenen Molekeln, die eine Art derselben als Lösung in der anderen Art aufgefasst, hat sich im allgemeinen um einen entsprechenden Betrag geändert und durch Diffusion strömt von aussen diejenige Molekelart herbei, deren Dichtigkeit relativ abgenommen hat. Ein solches Herbeiströmen macht uns aber den Eindruck einer anziehenden, in die Ferne wirkenden Kraft, welche die Molekeln der einen Art, zb. des Lösungsmittels, auf diejenigen der anderen Art, des zu lösenden Körpers, ausüben.

Als unmittelbare Folge einer solchen anziehenden Kraft, welche das Lösungsmittel auf den zu lösenden Körper oder auch umgekehrt der letztere auf das erstere ausübt, erkennen wir den Vorgang der Osmose. Dieser hat zur Voraussetzung, dass Lösungsmittel und gelöster Körper in zwei verschiedenen Konzentrationen durch eine Membran voneinander geschieden sind, welche für die eine von jenen beiden Substanzen durchlässiger ist, als für die andere. Ob nun die Molekeln des Lösungsmittels und des gelösten Körpers sich mehr oder weniger fest miteinander verbinden, ob sie sogar eine chemische Verbindung eingehen, bleibt für den Vorgang der Osmose ohne prinzipielle Bedeutung [1]).

[1]) Doch könnte der anfängliche Vorgang der Osmose eine wesentliche Aenderung in seinem Verlaufe erfahren, wenn jene Membran für die Molekeln der durch die chemische Verbindung neu entstandenen Substanz wiederum durchlässig werden sollte.

Stabilität und Kampf ums Dasein unter den Molekeln eines festen Körpers.

In festen Körpern spielt der Kampf ums Dasein unter benachbarten Molekeln eine geringere Rolle, als in Flüssigkeiten und in Gasen, teils weil die Zusammenstösse benachbarter Molekeln im allgemeinen in ersteren weniger heftige sein werden, als in letzteren, so dass die Stabilität jeder einzelnen Molekel dort eine grössere ist, teils weil jede Molekel immer nur mit den gleichen unmittelbar benachbarten Molekeln zusammenstösst. Doch finden bekanntlich auch in den Molekeln fester Körper gelegentlich Umlagerungen statt, nur sind dafür längere Zeiträume erforderlich. Man denke zb. an die Gesteinsbildungen in unserer Erdkruste. Durch äussere Einflüsse, durch mechanische, thermische, optische, elektrische, magnetische Einflüsse auf feste Körper können solche Umwandlungen, molekulare und Atomumlagerungen, begünstigt werden, wofür sich viele Beispiele anführen liessen.

Einfluss der Strahlung in Gasgemischen.

Für das Wachstum, für den Aufbau eines Körpers aus gleichartigen Molekeln spielen aber noch andere Faktoren eine wichtige Rolle. Im Kampf ums Dasein unter den Molekeln hat an jeder Stelle die bestehende Molekelart einen Vorteil voraus vor allen anderen noch nicht bestehenden Molekelarten, die dort aus den gleichen Atomen mit gleicher Stabilität entstehen könnten, nämlich in Hinsicht auf die Bildung und Anlagerung neuer Molekeln der gleichen Art, wie sogleich gezeigt werden soll. Wir betrachten wiederum die Vorgänge in gasförmigen Substanzen; in Flüssigkeiten und in festen Körpern sind dieselben übrigens ganz analog, wenn sie auch bei ihnen weniger rein zu Tage treten.

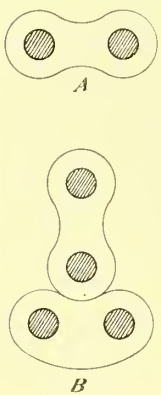


Fig. 5.

In einer freien Molekel (Fig. 5 A) kommen den Atomätherhüllen, der ganzen Molekularätherhülle gewisse Schwingungsbewegungen zu, mit bestimmten Schwingungszahlen, welche in den von den Aetherhüllen ausgestrahlten Wellenbewegungen bestimmten Wellenlängen entsprechen. Solche

Schwingungsbewegungen werden hervorgerufen durch gegenseitige Zusammenstösse der Molekeln, wie sie nach Clausius der Wärmebewegung aller Substanzen entsprechen, aber auch schon durch die während des Freifliegens der Molekeln erfolgenden Zusammenstösse ihrer einzelnen Atome untereinander. Die von diesen schwingenden Aetherhüllen ausgestrahlten, durch den freien Aether auf andere Atome übertragenen Wellenbewegungen nehmen wir als Licht wahr, wenn die Molekularbewegung eine genügend heftige, mit anderen Worten, wenn die Temperatur eine genügend hohe, wenn sie die Temperatur des Glühens ist. Bei tieferen Temperaturen sehen wir kein Licht mehr, wir können aber die ausgestrahlte Aetherwellenbewegung mit Thermosäulen als strahlende Wärme messen. Sogar bei gewöhnlicher Zimmertemperatur und bei jeder noch tieferen Temperatur werden der Molekularbewegung zufolge Aetherwellenbewegungen ausgestrahlt, welche ausgehen von den schwingenden molekularen Aetherhüllen, und welche mit der Thermosäule bis zu tiefsten Temperaturen hinab zu messen sind. Wenn die Molekeln in verhältnismässig schwacher, dafür aber die Atome bz. ihre Aetherhüllen in starker Bewegung begriffen sind, so erkennen wir die entsprechende ausgestrahlte Aetherwellenbewegung als Fluoreszenzlicht, als Phosphoreszenzlicht, so lange ihre Intensität nicht unter eine gewisse Grenze sinkt. Wenn es uns aber auch nicht mehr gelingt, die von den Molekeln und ihren Atomen, die von den schwingenden Aetherhüllen derselben ausgehenden Aetherwellenbewegungen in irgend einer Weise wahrzunehmen, so wollen wir dieselben doch der Einheitlichkeit der Vorgänge halber als Licht bezeichnen[1]). Die Konstanz und die in der Regel auf-

[1]) Für die Folge nennen wir, in konsequenter Anlehnung an die physikalische Bezeichnungsweise, die von den molekularen und von den Atomätherhüllen ausgestrahlte Aetherwellenbewegung stets kurzweg „Licht", wenn auch die Ausstrahlung einer einzelnen Molekel jederzeit so gering ist, dass wir niemals dabei wirklich Licht wahrzunehmen im stande wären; dessenungeachtet sind die Schwingungsbewegungen und die aus ihnen folgenden Aetherwellenbewegungen wirklich vorhanden und in unmittelbarer Umgebung der ausstrahlenden Aetherhüllen sind sie sogar ungemein wirksam. Man erinnere sich übrigens der von Becquerel entdeckten Strahlen „dunkeln" Lichtes, welche von Uran und seinen Verbindungen von Thor usf. schon bei gewöhnlicher Temperatur ausgesandt werden. Dieselben lassen sich durch ihre photographische Wirksamkeit erkennen.

fallend scharfe Begrenzung der von heftig zusammenstossenden Molekeln einer gasförmigen Substanz ausgesandten Spektren zeigt uns, dass in der That den Aetherhüllen dieser Molekeln ganz bestimmte, wenn auch oft sehr verwickelte Schwingungszustände zukommen.

Eine frei im betrachteten Raume befindliche Molekel habe soeben einen Stoss von einer anderen Molekel oder von einem einzelnen Atom erhalten. Während der Berührung mit diesen ist die Aetherhülle jener Molekel deformiert (Fig. 5, B); sie hat also in diesem Zeitraume nur gewisse erzwungene Schwingungsbewegungen ausgeführt, welche sich nach Massgabe der Art der Berührung und der Aenderung derselben stetig ändern mussten. Ist aber die betrachtete Molekel nach dem Stosse wieder frei geworden (Fig. 5, A), so führt ihre Aetherhülle von nun an ihre ganz bestimmten in Bezug auf die Schwingungsdauern gleichbleibenden gedämpften Schwingungsbewegungen aus, nämlich ihre schon früher hervorgehobenen Eigenschwingungen. Diese Schwingungsbewegung erhält sich so lange, bis sie infolge der Ausstrahlung nach und nach verschwunden, bis die in ihr steckende Energie als Lichtenergie völlig nach aussen abgegeben worden ist.

Wir verfolgen den Vorgang der Ausstrahlung genauer und suchen die Wirkungen auf, welche dieselbe in der Umgebung des Strahlungszentrums hervorbringen muss. Strahlt die Aetherhülle einer freien Molekel ihre Eigenschwingungsbewegung als Licht in den umgebenden Raum aus, so muss der die molekulare Aetherhülle umgebende freie Aether überall diese Schwingungsbewegung mitmachen; nur dadurch kommt die Uebertragung derselben nach aussen zu stande. In unmittelbarer Nachbarschaft der Molekel schwingt der umgebende freie Aether stärker mit als in grösseren Abständen: die Intensität dieser Bewegung, durch das Quadrat der Schwingungsamplituden des freien Aethers gemessen, nimmt mit dem Quadrat der Entfernung vom Erregungszentrum ab, ist an jeder Stelle diesem Quadrat umgekehrt proportional.

Ausser den Atomen in der betrachteten Molekel mögen sich noch viele andere teils gleich-, teils ungleichartige freie Atome im nämlichen Raume befinden und mit den ihnen eigenen, dem gasförmigen Aggregatzustande entsprechenden Geschwindig-

keiten in demselben herumfliegen. Sie werden dann jener Molekel, welche wir als ihre Eigenschwingungsbewegung, das heisst als lichtausstrahlend erkannt haben, gelegentlich nahe kommen, sei es dass sie direkt auf dieselbe losstürzen, sei es dass sie nur in unmittelbarer Nähe derselben vorbeifahren. Je näher sie aber jener Molekel kommen, um so mehr werden ihre eigenen Aetherhüllen die von jener ausgestrahlte Schwingungsbewegung selber aufnehmen müssen, falls sie überhaupt solche Schwingungen, wenn auch nur als „erzwungene", ausführen können.

Es ist nicht gesagt, dass die Aetherhülle jeder Atomart jede beliebige Schwingungsbewegung gleich gut aufzunehmen und auszuführen im stande sein werde; im Gegenteil, wir müssen die Existenz solcher ganz allgemein allen Atomen in vollkommen gleicher Weise zukommender Eigenschaften für höchst unwahrscheinlich halten. Die Annahme ist aber gerechtfertigt, dass diejenigen Atome, welche mit den Atomen der betrachteten, ihr Licht ausstrahlenden Molekel gleichartig sind, diese ausgestrahlte Schwingungsbewegung mehr oder weniger, zum mindesten als erzwungene Schwingungsbewegung, in sich aufnehmen können; denn in der Verbindung der Atome zu der bt. Molekelart sind sie es in hervorragendem Masse im stande. Nähern sich demnach solche gleichartige Atome jener Molekel, so nehmen ihre Aetherhüllen die Schwingungsbewegung der Aetherhülle der Molekel um so mehr an, je mehr sie an dieselbe herankommen.

Die Theorie lehrt, dass in Gasen von Atmosphärendruck und von einer mittleren Temperatur (etwa 0° C.) die Zusammenstösse der Molekeln untereinander, wie sie der Wärmebewegung entsprechen, auch in sehr kleinem Raume ungeheuer zahlreich sind. In einem Kubikzentimeter finden pro Sekunde in runder Zahl etwa 100 000 Quadrillionen molekulare Zusammenstösse statt. Demnach werden, wenn in dem von uns hier betrachteten Raume eine entsprechende Zahl von Atomen vorhanden ist, in unmittelbarer Nähe jener lichtausstrahlenden Molekel in kürzester Zeit Hunderte und Tausende von Zusammenstössen verschiedener Atome stattfinden. Weil auch die Molekel selber immer wieder Stössen ausgesetzt ist, strahlt sie fortwährend das ihr eigene Licht aus, und alle in ihre Nähe gelangenden Atomätherhüllen nehmen einen Teil dieser Lichtwellenbewegung in sich auf, sie absorbieren dieselbe. Besonders stark ist diese Absorption bei

den mit den Atomen der Molekel gleichartigen freien Atomen, deren Aetherhüllen dadurch in gleichartige, bis zu einer gewissen Grenze immer stärker werdende Schwingungen versetzt werden, ein Vorgang, welcher bei allen Schwingungsbewegungen, bei allen Wellenbewegungen vorkommt und welcher als Resonanz bezeichnet wird. Stossen also solche Atome gleicher Art und in gleicher Anzahl, wie sie in jener lichtausstrahlenden Molekel vorhanden sind, zufällig einmal in der Nachbarschaft der letzteren zusammen, so haben ihre Aetherhüllen nicht nur die Eigenschwingungen der lichtausstrahlenden molekularen Aetherhülle vermöge der Resonanz viel stärker in sich aufgenommen, als alle anderen ungleichartigen Atome, sondern die Schwingungen in ihnen geschehen auch — bei gleichem Abstande von der molekularen Lichtquelle — in entsprechend gleicher Phase wie in jener molekularen Aetherhülle (Fig. 3, C). Die abstossende Kraft, welche die Atome in der Regel wegen der entgegengesetzten Phase ihrer Aetherhüllenschwingungen während der Dauer ihres Zusammenstosses aufeinander ausüben (S. 19), wird also hier durch die Strahlung der benachbarten aus gleichartigen Atomen bestehenden Molekel beeinträchtigt, gehemmt; die Wahrscheinlichkeit, dass bei allen möglichen Zusammenstössen aller vorhandenen Atome hier gerade die mit der lichtausstrahlenden Molekel gleichartige Molekel gebildet wird, ist eine besonders grosse.

Wir ersehen hieraus, dass in der Nähe einer infolge von Zusammenstössen lichtausstrahlenden Molekel die im gleichen Raume herumfliegenden Atome anderen Bedingungen ausgesetzt sind, als in grösseren Abständen von derselben. Zwar entstehen durch die Zusammenstösse aller möglichen Atome vorübergehend alle möglichen Molekeln; manche von ihnen bleiben nur während der kurzen Zeit des Zusammenstosses der Atome bestehen, sie sind gleichsam nur Augenblicksmolekeln; andere, welchen eine grössere Stabilität zukommt, kämpfen ihren Kampf ums Dasein. Wenn sie aber unter sonst gleichen Umständen mit einer Molekel anderer Art vollkommen gleiche Stabilität besitzen, so kommen sie doch im Augenblicke ihres Entstehens in unmittelbarer Nachbarschaft einer lichtausstrahlenden Molekel jener anderen Art in Nachteil; sie unterliegen in der Regel in jenem Kampfe mit der gleichzeitig entstehenden Molekel der anderen Art.

Selektionsprinzip bei den Molekeln; Assimilation.

Stets sucht also eine bereits bestehende, das heisst eine aus fest aneinander gefesselten Atomen gebildete Molekel in ihrer unmittelbaren Umgebung gleichartige Molekeln zu erzeugen, wenn die passende „Nahrung", mit anderen Worten, wenn die mit den ihrigen gleichartigen Atome dort vorhanden sind und wenn alle Atome dem gasförmigen Aggregatzustande entsprechend in Bewegung sich befinden. Die Molekel übt auf die in ihrer Umgebung zu stande kommenden Atomverbindungen einen auswählenden Einfluss aus, indem sie das Zusammentreten der mit ihren eigenen Atomen gleichartigen Atome in gleicher Anzahl besonders begünstigt, alle anderen Atomverbindungen dementsprechend benachteiligt. Für dieses Auswahlvermögen wollen wir den Namen „Selektion" [1]) gebrauchen. Es findet also eine Selektion unter den Molekeln im Kampf ums Dasein statt: Jede Molekel sucht in ihrer Umgebung namentlich gleichartige Molekeln zu bilden. Es kommt eine Assimilation zu stande, wenn die passende Nahrung vorhanden ist.

Auf den Kampf, welcher unter den Atomen entbrennt, die in der Nähe der lichtausstrahlenden Molekel zusammenstossen, müssen wir noch etwas näher eintreten. Sei A (Fig. 6) die lichtausstrahlende Molekel, wobei durch die punktierte und die gestrichelte Kontur die Schwingungszustände ihrer Aetherhülle in den Grenzwerten der Ausschläge dargestellt werden sollen. Die Molekel bestehe aus zwei ungleichartigen Atomen a und b. Durch die Molekelbildung sind die Eigenschwingungen der Aetherhüllen dieser Atome modifiziert, aber nicht völlig unterdrückt; ihre Phasen haben sich einander in bestimmter Weise angepasst. Kommen nun

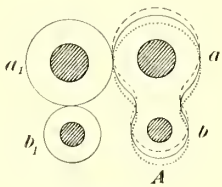


Fig. 6.

[1]) Die Anwendung solcher in der Biologie übrigens mehrfach in ähnlicher Weise verwendeter Ausdrücke eines aktiven Handelns auf rein mechanische Vorgänge wird sich aus dem folgenden als berechtigt erweisen. Uebrigens wird der Leser erkennen, dass alle bis dahin und auch fernerhin in diesem Kapitel beschriebenen Vorgänge wirklich nur mechanischer, physikalischer oder chemischer Art sind. Jenen Ausdrücken möge daher nicht irgend eine teleologische Bedeutung untergeschoben werden.

in der Nähe dieser Molekel zwei Atome a_1 (gleichartig mit a) und b_1 (gleichartig mit b) zur Berührung, so wie es in der Figur 6 angedeutet ist, so haben die Aetherhülle von a_1 sowohl als auch diejenige von b_1 in dieser Nachbarschaft Schwingungszustände angenommen, wegen der Lichtausstrahlung der Molekel A, welche sie leicht zu bewahren im stande sind, und die Phasen in beiden Atomen a_1 und b_1 sind überdies ganz analog wie diejenigen in der Molekel A [1]). Es werden daher die Atome a_1 und b_1 vermöge der Affinität ohne weiteres zu einer mit A gleichartigen Molekel zusammentreten.

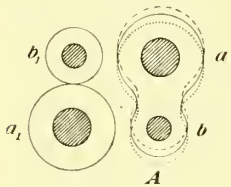


Fig. 7.

Kommen dagegen die Atome a_1 und b_1 in solcher Lage in die Nähe der Molekel A, wie dies in Figur 7 angedeutet ist, so wird zwar gleichwohl a_1 die a, und b_1 die b hauptsächlich zukommenden Aetherhüllenschwingungen durch Resonanz aufzunehmen suchen; allein je näher b_1 an a rückt, um so mehr muss es auch die störenden Aetherhüllenschwingungen annehmen, welche a im besonderen eigentümlich sind, und dasselbe gilt für a_1 bei zu grosser Annäherung an b. Somit wird die Bildung einer mit A gleichartigen Molekel aus a_1 und b_1 weniger begünstigt in der in Figur 7 gezeichneten Lage derselben (a_1 b_1), als in einer der Figur 6 entsprechenden Lage. Die nach jener Anordnung (Fig. 6) gebildete Molekel a_1 b_1 hat im Kampf ums Dasein mit anderen Molekeln einen ungleich grösseren Vorteil, als die nach dieser Anordnung (Fig. 7) zu bildende Molekel.

Aus diesen Betrachtungen geht hervor, dass eine infolge von Zusammenstössen mit anderen Molekeln oder mit Atomen lichtausstrahlende Molekel in ihrer Nachbarschaft nicht nur gleichartige Molekeln, sondern auch gleichorientierte Molekeln zu erzeugen, dass sie solche zu assimilieren sucht, wenn die nötigen Atome zu diesen Verbindungen vorhanden sind. Sie greift ein in den Kampf ums Dasein, welchen die

[1]) Allfällige ungleichphasige Aetherhüllenschwingungen, welche a_1 und b_1 vor der Annäherung aneinander besassen, wurden durch die Molekel A ebenfalls möglichst auf entsprechende Phase gebracht, durch Resonanzwirkung, weil die fest verketteten Atome a und b nur in bestimmter passend übereinstimmender Phase schwingende Aetherhüllen haben können.

versehiedenen in ihrer Naehbarsehaft sieh bildenden Molekeln miteinander ausfeehten, begünstigt dureh Selektion die gleiehartigen und gleiehorientierten Molekeln.

Assimilation mehratomiger Molekeln.

Wir haben zwar bis dahin gelegentlich von Molekeln gesproehen, welche sieh aus zwei oder mehr Atomen zusammensetzen, haben aber bei den einzelnen Betraehtungen und in den Figuren jeweilen Molekeln von nur zwei Atomen vorausgesetzt. Es ist nun einleuehtend, dass bei Molekeln von drei und mehr Atomen ganz analoge Wirkungen auftreten müssen. Stellen wir uns zb. eine Wassermolekel vor (Fig. 8), zwei Wasserstoff- und ein Sauerstoffatom enthaltend, in einem übrigens mit zahlreichen Wasserstoff- und Sauerstoffatomen erfüllten Raume, den Zusammenstössen mit diesen Atomen ausgesetzt. Ihre Atome werden dureh diese Stösse in Sehwingungen versetzt. Die molekulare Aetherhülle führt dabei ihre im allgemeinen sehr komplizierten Sehwingungsbewegungen aus. Sie strahlt demnaeh Licht aus, welehes die herumschwirrenden zufällig in ihre Nähe gelangenden gleiehartigen Atome vermöge der Resonanz besonders stark zu absorbieren, in eigene Aetherhüllenbewegungen gleieher Phase umzuwandeln suchen. Es bildet sieh unter diesen Umständen zuerst eine Verbindung eines Sauerstoffatoms mit einem Wasserstoffatom in unmittelbarer Nähe der Wassermolekel, und ist die Temperatur eine passend niedrige, so findet sogar Anlagerung jenes Atompaars an diese Molekel statt. In weiterhin erfolgenden Zusammenstössen treten alle mögliehen im Raume herumfliegenden Atome gelegentlieh an jene ungesättigte Verbindung des Sauerstoff- und des Wasserstoffatoms heran. Alle ungleiehartigen Atome vermögen jedoeh niemals länger standzuhalten; denn ihre Aetherhüllensehwingungen werden bald in der Phase von denjenigen der Wassermolekel abweiehen. Solche Atome werden deshalb wieder abgetrennt, abgestossen, weggeschleudert; sie weiehen im Kampfe mit anderen heranstürmenden Atomen. Nur das Wasserstoffatom wird, wenn es an der noeh leeren Stelle der neu sieh bildenden Wassermolekel ankommt, vermöge der Resonanz genau diejenige Phase seiner Aetherhüllensehwingungen annehmen, welehe den anderen Atomen in der sehon halb zu

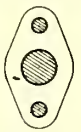


Fig. 8.

stande gekommenen Verbindung entspricht. Nur ein solches Atom wird daher die beiden anderen Atome zu einer an der bt. Stelle stabilen Verbindung, zu einer Wassermolekel ergänzen.

So sucht jede andere noch kompliziertere Molekel, wenn die nötigen Atome hierzu vorhanden sind, in ihrer unmittelbaren Umgebung durch Assimilation fort und fort gleichartige Molekeln zu erzeugen, indem sie ungleichartig entstehende Molekeln verwirft, sie unter Umständen wieder zerlegt, wenn sie zu nahe herankommen, gleichartige Molekeln dagegen in ihrer Bildung begünstigt. Sie trifft eine Auswahl unter solchen Molekeln, begünstigt durch Selektion im Kampf ums Dasein der Molekeln untereinander die mit ihr gleichartigen und gleichorientierten Molekeln.

Einfluss der Strahlung in flüssigen und festen Gemischen.

In analoger Weise macht sich ein Einfluss der Strahlung geltend in Flüssigkeitsgemischen, wenn Umsetzungen einzelner Molekelarten, wenn Zersetzungen, Dissoziationen möglich sind. Vermöge der immerwährenden Zusammenstösse der Molekeln untereinander strahlt jede Molekel ihr Eigenlicht aus. Namentlich überträgt sie ihre Aetherhüllenschwingungen direkt von Aetherhülle zu Aetherhülle, wenn eine fremde Molekel unmittelbar mit ihr in Berührung kommt. Daher wird zufolge dieser Eigenlichtabgabe bz. Strahlung durch eine stabilere Molekel eine weniger stabile dieselbe berührende Molekel leichter zerlegt, als wenn diese Strahlung nicht vorhanden wäre. Umgekehrt wird, wenn die nötige „Nahrung“ vorhanden ist, das heisst wenn durch solche Zerlegungen die richtigen Atome freigemacht werden können, in unmittelbarer Nachbarschaft jener stabileren Molekel eine mit derselben gleichartige Molekel gebildet. Jene stabilere Molekel erzeugt in diesem Falle fort und fort gleichartige Molekeln, sie assimiliert solche aus ungleichartigen weniger stabilen Molekeln; die Vorgänge der Phasenänderungen in den Aetherhüllen der benachbarten freigewordenen Atome sind dabei ganz ähnliche, wie sie bei gasförmigen Substanzgemischen beschrieben worden sind. Auch in Flüssigkeitsgemischen werden daher vermöge einer Selektion im Kampf ums Dasein von den stabileren Molekeln gleichartige Molekeln in gleicher Orientierung

assimiliert. Auch in ihnen sind die bereits bestehenden Molekeln im Vorteil anderen noch nicht bestehenden Molekeln gegenüber, welche im übrigen unter sonst gleichen Umständen gleiche Stabilität besässen. Wie für die Gasgemische nachgewiesen worden ist (S. 32), so werden in Flüssigkeitsgemischen fortwährend jene ersteren bereits bestehenden Molekeln durch Assimilation neu gebildet, nicht diese letzteren bis dahin noch nicht bestehenden. Aehnlich sind endlich die Vorgänge in festen Substanzgemischen zu denken; nur ist in diesen die Beweglichkeit der Molekeln eine so geringe, dass für die bt. Umsetzungen verhältnismässig lange Zeiträume erforderlich sind.

Erster biologischer Fundamentalsatz.

Aus unseren Betrachtungen der mechanischen Vorgänge, welche sich bei den in zuckender Bewegung befindlichen Molekeln abspielen, erhalten wir den wichtigen Fundamentalsatz der Biologie: Die Substanz hat das Bestreben, sich zu vermehren. Vorerst habe ich diesen Grundsatz des Assimilationsvorganges nur für die Molekeln abgeleitet. Jede Molekel sucht gleichartige und gleichorientierte Molekeln zu erzeugen, in jedem Aggregatzustande. Sie sucht zu assimilieren und ihr Bestreben wird von Erfolg gekrönt, wenn ihr die passende Nahrung zur Verfügung steht, wenn also namentlich in ihrer Nachbarschaft die in ihr selber enthaltenen Atome frei oder in passend zerlegbaren Verbindungen vorhanden sind. Sie greift ein in den Kampf ums Dasein, welcher unter den neu entstehenden Molekeln entbrennt, verwirft ungleichartige Molekelbildungen, lässt solche Molekeln nicht zu stande kommen oder sucht sie wieder zu zerlegen; sie begünstigt dagegen die entstehenden gleichartigen und gleichorientierten Molekeln vermöge der Strahlung. Sie besitzt demnach ein Auswahl-, ein Selektionsvermögen im Kampf ums Dasein. Ich werde später Schritt für Schritt zeigen, dass dieser Fundamentalsatz gültig sein muss für Molekelaggregate, für einfache Molekelgebilde, für die kleinsten Lebewesen, für Protisten und einfache Zellen, für Zellenstaaten, Pflanzen und Tiere.

B. Feste Körper.

Erstarrung.

Ist die Temperatur in dem betrachteten Raume eine hinreichend niedrige, so dass die durch Assimilation neugebildeten Molekeln vermöge der Kohäsionskräfte zu festen Körpern sich zusammenlagern können, so legt sich Molekel an Molekel; wegen des Einflusses der Strahlung legen sie sich in gleicher Orientierung nebeneinander. Es entsteht ein festes Gebilde, in welchem alle kleinsten Teilchen, die Molekeln, mit ihren gleichen Mittellinien gleich orientiert sind. Nicht in allen Fällen wird ein solches Gebilde uns notwendig den Eindruck einer kristallinischen Struktur machen müssen, vielmehr nur dann, wenn die Molekularstruktur der Substanz in verschiedenen Richtungen eine dermassen verschiedene ist, dass wir am fertigen Gebilde in verschiedenen Richtungen verschiedene Eigenschaften nachweisen können. Doch scheinen allerdings die bis dahin bekannt gewordenen chemischen Elemente die Eigenschaft der Kristallisationsfähigkeit durchweg zu besitzen. Aehnlich wie durch Ausscheidung gleichartiger Molekeln aus einer Lösungsflüssigkeit in fortwährend gleicher Orientierung die Kristallbildung zu stande kommt, so erfolgt dieselbe durch direkte Abscheidung solcher Molekeln aus dem gasförmigen Aggregatzustande, ohne Uebergang durch den flüssigen Aggregatzustand. Wird die Ausscheidung und die Anlagerung von Molekeln aneinander durch äussere Einflüsse, etwa durch sehr rasche Temperaturerniedrigung, übermässig gestört, so wird dadurch die Assimilation beeinträchtigt. Es kann die Kristallbildung unterbleiben: die Molekeln legen sich in jeder beliebigen Weise aneinander an, sie bilden einen amorphen Körper.

Dem Nichtphysiker mag es vielleicht nicht so leicht fallen, sich den Einfluss der Eigenbewegungen der Molekeln, ihrer Atome und Aetherhüllen auf die Anlagerung neuer Molekeln vorzustellen. Der folgende bildliche Vergleich wird aber die entsprechenden Vorgänge anschaulich machen. Man denke sich eine Gruppe von Turnern, in Reihen nebeneinanderstehend mit kleinem Abstand, wobei jeder derselben seine Arme in je einen Arm seiner beiden Nachbarn eingehängt hat. Diese gleichsam verketteten Turnerreihen müssen nun auf das Kommando ihres Turnwarts Rumpfbeugen seitwärts links und rechts ausführen. Befindet sich in einer solchen Reihe ein einzelner Turner, welcher dabei links und rechts verwechselt, so wird

er seinen Kopf mit den Köpfen seiner Nachbarn zusammenschlagen, so lange, bis er in gleichem Tempo mit den übrigen sein Rumpfbeugen ausführt. Wenn ausserhalb der Turnergruppe Leute da sind, welche diese Uebung gleichfalls mitmachen möchten, so können sie am einen oder am anderen Ende einer Reihe sich anschliessen, ihren entsprechenden Arm einhängen und die Kette fortsetzen, wenn sie ganz gleichartige Turner sein wollen, das heisst, wenn sie in genau gleichem Tempo das Rumpfbeugen seitwärts ausführen, in der gleichen „Phase", also links, wenn links und rechts, wenn rechts kommandiert wird. Halten die neu sich anschliessenden Leute das Tempo der übrigen Turner nicht ein, so schlagen sie ihre Köpfe mit denjenigen ihrer nachbarlichen Turner zusammen, und diese werden suchen, die Störenfriede in möglichst weitem Abstande von sich zu halten; sie werden dieselben ihre Arme nicht zur Verkettung einhängen lassen. Für solche ungleichartige Turner ist also die Einreihung zur Verkettung unmöglich.

Würde einer von den eben neu sich anschliessenden Turnern zwar genau im richtigen Tempo das Rumpfbeugen seitwärts ausführen, auch in vorgeschriebener Weise links beugen auf das Kommando links, und rechts auf das Kommando rechts, würde er aber beim Anschliessen an die Reihe aus Versehen etwa nicht wie die übrigen Turner Front gegen den Turnwart machen, demselben vielmehr seinen Rücken zuwenden, wäre er also nicht gleich orientiert wie die übrigen Turner, so müsste er beim Rumpfbeugen wiederum seinen Kopf mit demjenigen seines Nachbars, bei welchem er anschliessen will, zusammenschlagen. Dieser Nachbar würde also das Armeinhängen zur Kette nicht gestatten, so lange, bis der Neuling sich ordnungsmässig gedreht hätte. Demnach ist nur die Einreihung und Verkettung gleichartiger und gleichorientierter Turner möglich.

Unser Bild lässt sich in mehrfacher Weise vervollständigen. Das gleichzeitige Wachstum verschiedenartiger Körper kann man bildlich darstellen durch die Einreihung von Neulingen in ganz verschiedene Turnergruppen, welche ihrer Körperbeschaffenheit zufolge ihre Rumpfbeugeübungen mit verschiedenen Geschwindigkeiten ausführen, ganz besonders, wenn das möglichst rasche Tempo für diese Uebungen vorgeschrieben ist. Man denke zb. an die Ungleichheit der Zeitdauer eines solchen Rumpfbeugens bei sehr korpulenten oder bei schmächtigen Turnern. Korpulente Neulinge könnten sich nur den korpulenten, nicht den schmächtigen Turnern anpassen, weil sie die Bewegungen der letzteren nicht rasch genug auszuführen vermöchten. Bestünden verschiedene Turnergruppen teils aus Männern, teils aus Frauen, teils aus Knaben usf., so würden auch hier Neulinge sich stets bei derjenigen Gruppe am leichtesten und am sichersten zur Verkettung anschliessen, zu deren Art sie gehören.

In ähnlicher Weise lassen sich für die mit Anlagerung verbundenen Assimilationsvorgänge zusammengesetzter Molekeln Bilder vorführen, welche diese Vorgänge anschaulich zu machen geeignet sind. Wir denken uns zb. viele parallele turnende Männerreihen abwechselnd mit ebensovielen parallelen turnenden Knabenreihen, nämlich Männerreihe, Knabenreihe, Männerreihe, Knabenreihe usf., alles so eng ineinander aufgestellt als

möglich. Die Männerreihen mögen seitliches Rumpfbeugen ausführen, die Knabenreihen dagegen Rumpfbeugen vorwärts und rückwärts, also senkrecht zur Richtung der Reihen. Dabei sollen die Knaben so aufgestellt sein, dass sie bei ihrem Beugen jeweilen in die zwischen zwei Männern bestehenden Lücken eingreifen. Solche Reihen von zweierlei Art können gleichzeitig ihr Rumpfbeugen ausführen, in einer Weise, dass sie sich nicht stören, wenn sie genau nach vorgeschriebenem Kommando sich bewegen. Bei passender Aufstellung der Reihen können die Knaben ihr Rumpfbeugen ohne Störung doppelt so schnell als die Männer ausführen usf. Dann wird das Einhängen von Neulingen zur Kette am Umfange der Gruppe wiederum an entsprechenden Stellen gleichartige Turner erforderlich machen, also Männer in den Männerreihen, Knaben in den Knabenreihen; ihre Einreihung muss überdies in gleicher Orientierung erfolgen. In diesem Bilde würden die Männer die eine Atomart, die Knaben die andere Atomart der gegebenen zweiatomigen Molekeln vertreten. Dabei kann man sich noch je einen Mann und einen an bestimmter Stelle vor ihm stehenden Knaben durch eine Verbindung irgend welcher Art miteinander verkettet denken, so dass eben die Molekel durch Mann und Knaben zusammen bildlich dargestellt wird.

Es ist selbstverständlich, dass solche Bilder uns nur einen ungefähren Begriff von den wirklichen Vorgängen bei den Atomen und Molekeln geben können. Denn die Schwingungen in diesen sind nicht so einfacher Natur, wie sie es in unseren für die bessere Anschaulichkeit gewählten Beispielen der Turner zu sein scheinen. Vielmehr sind der möglichen Schwingungsarten schon in den einfachsten Atomen überaus viele, wie die Spektralanalyse lehrt, und nur dann harmonieren die sich anlagernden Atome bz. Molekeln miteinander, wenn alle oder doch die am meisten hervortretenden von ihren einzelnen Schwingungsarten untereinander gleichartig sind (vgl. die späteren Untersuchungen über ein gewisses Gegenseitigkeitsverhältnis der Resonanz unter verschiedenartigen Molekeln im Abschnitt: „Entstehung neuer Molekelarten durch Assimilationsvorgänge; Gegenseitigkeitverhältnis").

Einfluss elektrischer und magnetischer Kräfte.

Würden in der oben beschriebenen Weise fortwährend gleichartige und gleichorientierte Molekeln gebildet, und würden sich dieselben stets in gleicher Weise und an entsprechenden Stellen nur so nebeneinanderlegen, wie dies etwa in Fig. 9 A oder B angedeutet ist, so müsste das entstandene Gebilde eine dünne Lamelle sein, eine Schichte von molekularer Dicke. Es wird indessen die Anlagerung gleicher und gleichorientierter

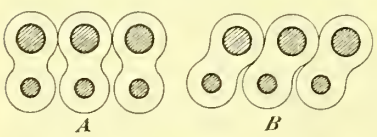


Fig. 9.

Molekeln auch über und unter der Lamelle durch Strahlung mehr begünstigt als die Anlagerung ungleichartiger Molekeln. Ausserdem sind aber noch andere Kräfte auf die Molekeln wirksam, wie wir in den theoretischen Grundlagen schon hervorgehoben haben. Jede Molekel ist nämlich im allgemeinen magnetisch, sie besitzt zwei magnetische Pole. Ebenso besitzen alle Molekeln, welche in entsprechender Weise Asymmetrien in ihrer Bauart aufweisen, elektrische Pole. Wir haben zu untersuchen, was für Wirkungen den elektrischen und magnetischen Anziehungen der Molekeln untereinander zuzuschreiben sind.

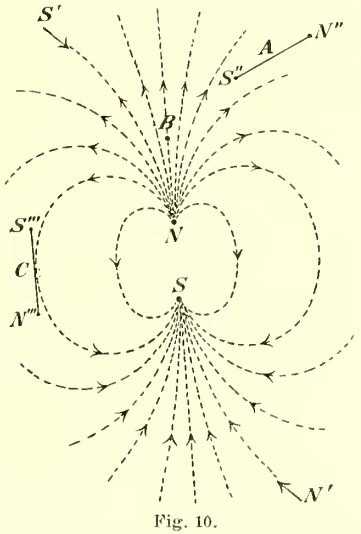


Fig. 10.

In Fig. 10 sei eine Molekel dargestellt durch ihre beiden Pole N und S, etwa durch ihre magnetischen Pole. Um die Pole denken wir uns das bekannte System von Kraftlinien konstruiert: Vom Nordpol treten im Sinne der Pfeile positive Kraftlinien in den Raum hinaus, im Südpol treten dieselben wiederum ein. Diese Kraftlinien geben an jeder Stelle die Richtung an, nach welcher auf einen einzelnen Pol von der Molekel N S aus eine Kraft ausgeübt wird. Ein einzelner Südpol S′ würde längs der Kraftlinien gegen den Nordpol N hin, aber vom Südpol S weggetrieben; umgekehrt würde ein einzelner Nordpol N′ von N weg und gegen S hingetrieben.

Jede von unseren Molekeln hat gleichzeitig zwei Pole, einen Nordpol N′ und einen Südpol S′, beide von gleicher Stärke. Befindet sich nun eine solche Molekel an einer beliebigen Stelle A der Umgebung von N S, so wird ihr Nordpol von dem nahen Nordpol N abgestossen, ihr Südpol von demselben angezogen; die Molekel wird also etwa in die Lage N″ S″ gedreht. Sodann wird sie, weil nun der ungleichnamige Pol S″ viel näher an N ist als der gleichnamige N″, angezogen, bis N und S″ möglichst zusammenfallen und zugleich N und N″ möglichst voneinander

entfernt sind. Die stabilste Vereinigung der beiden Molekeln ist diejenige, in welcher die eine von ihnen die unmittelbare Verlängerung der anderen bildet, so dass N″S″ in die Lage BN zu gelangen sucht. Nun addieren sich ihre beiden magnetischen Fernewirkungen. Die ihren vereinigten Wirkungen entsprechenden Pole rücken weiter auseinander. Das Molekelpaar beherrscht einen grösseren Raum, wirkt in einem grösseren Bereich als die einzelne Molekel. Dasselbe zieht also weiter entfernte Molekeln an sich heran, indem es dieselben wiederum in gleicher Weise zu orientieren sucht. So entstehen aus aneinandergereihten Molekeln bestehende Fäden, in welchen stets die Molekeln gleich orientiert sind. Folglich suchen auch die magnetischen Kräfte, welche von einer Molekel ausgehen, eine andere benachbarte gleichartige Molekel gleich zu orientieren; die beiden Molekeln legen sich aber vermöge ihrer magnetischen Kraftwirkungen nicht n e b e n einander, sondern h i n t e r einander. Entstanden bei der Bildung neuer Molekeln unter dem besonders hervortretenden Einfluss der Strahlung vorzugsweise M o l e k e l s c h i c h t e n, durch Nebeneinanderlagerung gleichartiger und gleichorientierter Molekeln (S. 40), so entstehen nun durch Anlagerung der Molekeln hintereinander vermöge ihrer magnetischen Kräfte M o l e k e l f ä d e n. Durch Eisenfeilicht, welches sich in starken Magnetfeldern in die bekannten Kraftlinienfiguren einstellt, wird eine solche Fadenbildung deutlich illustriert.

Man könnte einwenden, nicht alle neuen Molekeln entstehen an Orten A (Fig. 10), an welchen ihre beiden Pole dem einen Pole N der anziehenden Molekel näher seien, als ihrem anderen Pole S (bz. umgekehrt S näher als N); es entstehen vielmehr Molekeln in genau symmetrischer Lage zu N und S, derart, dass die beiden magnetischen Achsen parallel, aber entgegengesetzt orientiert seien, dass überdies S‴ gleich weit von N bz. S entfernt sei, wie N‴ von S bz. N (Fig. 10 C). Wir haben früher gezeigt, dass diese Lage einer soeben neu entstehenden Molekel eine geringere Wahrscheinlichkeit für sich hat, als diejenige einer gleichen Orientierung derselben (S. 34). Kommt sie dennoch einmal zufällig vor, so entsteht unter Umständen ein unmagnetisches Molekelpaar. Dieses bildet aber teils wegen seiner ungleichen Schwingungszustände in den be-

naehbarten Aetherhüllenteilen beider Molekeln, teils wegen des Verschwindens der magnetischen Anziehungskräfte[1]) nach der Zusammenlagerung beider Molekeln eine weniger stabile molekulare Vereinigung, als ein Molekelpaar aus gleich orientierten Molekeln. Im Kampf ums Dasein siegt also das letztere doch schliesslich über das erstere Molekelpaar. Demnach kann durch solche ausnahmsweise an ganz bestimmten Stellen entstehende gleichartige Molekeln entgegengesetzter Orientierung das Bestreben, alle Molekeln eines Körpers in gleicher Orientierung anzulagern, nicht bleibend gehindert werden.

In ganz analoger Weise ziehen sich zwei Molekeln an, von denen jede zwei ungleichartige elektrische Pole besitzt. Auch die Pole solcher Molekeln suchen sich in der Richtung der elektrischen Kraftlinien zu bewegen, welche analog wie die magnetischen verlaufen. Diese Molekeln legen sich zuletzt gleichfalls parallel in eine und dieselbe Achsenrichtung S N B aneinander an, in welcher die Mittellinie oder Achse N″ S″ der einen Molekel die unmittelbare Verlängerung der Mittellinie oder Achse N S der anderen Molekel ist. Wir erkennen also, dass die beiden hier namhaft gemachten Kräfte, die elektrischen und die magnetischen, welche wir im allgemeinen den Molekeln zuschreiben müssen, bestrebt sind, diese Molekeln linear, fadenförmig aneinanderzureihen, in stets gleicher Orientierung ihrer Atome. Von der letzteren aber ist ja dieses Auftreten elektrischer und magnetischer Pole abhängig[2]).

Kristallinische Körper.

Wir haben verschiedene Wirkungen kennen gelernt, welche die fortwährend neu entstandenen Molekeln in verschiedener Weise aneinanderzulagern bestrebt sind. Vermöge der Lichtausstrahlung bestehender Molekeln entstehen neue gleichartige und gleichorientierte Molekeln, insbesondere in nächster Nähe derselben. Sie lagern sich deshalb infolge der Wirkungen der

[1]) Vgl. Mechanik des Weltalls, S. 77.

[2]) Es ist nach diesen Entwicklungen klar, dass ein äusseres elektrisches oder magnetisches Feld, zb. das Erdfeld, einen Einfluss auf die Orientierung der elektrischen oder der magnetischen Molekeln, also auch einen solchen auf die Orientierung der Kristallachsen bezüglich der Erdachse haben muss.

Kohäsionskräfte vorzugsweise unmittelbar seitlich aneinander an (Fig. 9), so dass eine Neigung zur Schichtenbildung vorhanden ist. Elektrische und magnetische, von den Molekeln ausgehende Kräfte begünstigen dagegen eine lineare Anlagerung der Molekeln aneinander, ebenfalls mit durchweg gleicher Orientierung der Molekeln. Weil aber diese beiden Anlagerungsarten nebeneinander bestehen, so werden weder Schichten in molekularer Dicke, noch Fäden von molekularem Durchmesser, sondern körperliche Gebilde aus der Anlagerung der Molekeln hervorgehen, wobei allerdings je nach der Art der bt. Molekeln die eine oder die andere Anlagerungsart überwiegt. Jede neue Molekel wird je nach dem Entstehungsort entweder in die Schichte oder in die Linie angereiht. Folglich muss jede Molekelschicht auch nach der Schichtdicke hin zunehmen, jeder Molekelfaden muss in die Dicke auswachsen. Es entstehen infolge der beschriebenen Anlagerung kristallinische Körper, in welchen durchweg gleichartige Molekeln in gleicher Orientierung angeordnet sind, wenn nicht, wie oben bereits bemerkt wurde, die Kristallbildung durch äussere Ursachen ganz verhindert worden ist. Ueberwiegt bei der Kristallisation einer Substanz die schichtenbildende Wirkung, so kristallisiert dieselbe in Plättchen, überwiegt die fadenbildende Wirkung, so kristallisiert sie in Nadeln; halten sich beide Wirkungen ungefähr das Gleichgewicht, so bilden sich die Kristalle gleichmässiger nach allen Dimensionen aus. Kristalle lassen sich oft nach ihren Schichten besonders leicht spalten.

Man könnte glauben, die Grundform des Kristalls irgend einer Substanz sei ein getreues Abbild der Molekel derselben. Es ist dies im allgemeinen durchaus nicht der Fall. Die Begrenzungsfläche der Molekel ist vielmehr stets eine kompliziertere. Die Atome in der Molekel haben bestimmte Begrenzungsflächen und diesen passt sich die molekulare Aetherhülle mehr oder weniger an. Auch sind alle Atome, mit ihren Aetherhüllen, es ist die ganze Molekel in steter Bewegung. Alle ihre Begrenzungsflächen ändern sich folglich immerwährend. Die Kristallform dagegen ist gewissermassen eine „mittlere“ Begrenzungsfläche zahlreicher nebeneinander liegender gleich orientierter Molekeln. Sie hat mit den molekularen Begrenzungsflächen überhaupt nur indirekt etwas zu thun, wie dies aus der

Figur 11 wohl deutlich genug hervorgeht. (Die möglichen Spaltungsflächen bz. diejenigen Flächen, welche die Kristallform bedingen, sind in der Figur durch punktierte Linien angedeutet.)

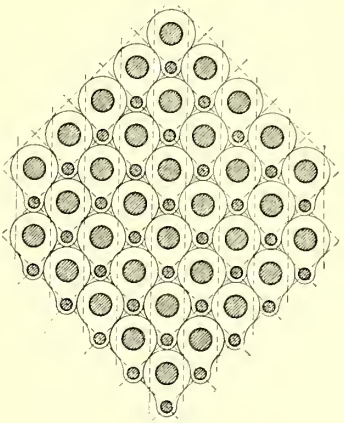


Fig. 11.

Die Selektion im Kampf ums Dasein gestattet nur gleichartigen Molekeln die ungestörte regelmässige Anlagerung aneinander (S. 43). So verhält es sich auch mit Molekeln von fast beliebig grossen Atomzahlen. Bei allen reinen Substanzen treten demnach, wenn nicht Störungen von aussen überwiegen, Kristallbildungen auf, durch regelmässige Aneinanderlagerung gleichartiger und gleichorientierter Molekeln, stets unter der Voraussetzung so niedriger Temperaturen, dass überhaupt Zusammenlagerungen der Molekeln zu festen Körpern möglich sind.

Anlagerung mehratomiger Molekeln.

In der unorganischen Chemie scheint die Konstitution der Molekeln, das heisst die bestimmte Art der Aneinanderlagerung der verschiedenen Atome in denselben, verhältnismässig einfach zu sein; in der organischen Chemie ist dies nicht immer der Fall. Bei den organischen Verbindungen werden die beiden Hauptgruppen der Fettkörper und der aromatischen Körper unterschieden. In den ersteren hat sich als Grundtypus die kettenförmige, in den letzteren die ringförmige Aneinanderlagerung der Kohlenstoffatome ergeben. Demzufolge werden die Fettkörpermolekeln mehr der Stäbchenform, die aromatischen Körpermolekeln mehr der Scheibenform nahe kommen. Es wäre indessen unrichtig, daraus zu schliessen, dass Fettkörper deswegen überwiegend in Nadeln, aromatische Körper aber in Platten kristallisieren. Denn stäbchenartige Molekeln werden, vermöge der fortwährenden Stösse, welche sie von benachbarten Molekeln erhalten, in linearer Anordnung um so weniger stabil verbunden sein, je länger sie sind (Fig. 12 A); in

schichtenförmiger Anordnung sind sie umgekehrt um so stabiler verbunden, je länger sie sind (Fig. 12B). Scheibenförmige bz. ringförmige Molekeln dagegen lagern sich besonders stabil an, wenn Scheibe an Scheibe, wenn Ring an Ring in der Weise sich reiht, dass alle Ringachsen in eine Gerade zu liegen kommen (Fig. 12C). Ausserdem ist zu bedenken, dass in den von uns wahrgenommenen Nadeln und Platten auch in ihren kleinsten Dimensionen immer noch Tausende von Molekeln nebeneinanderliegen, so dass wir aus der Nadel- oder Plattenform der Kriställchen niemals auf die Molekelgestalt selber schliessen dürfen.

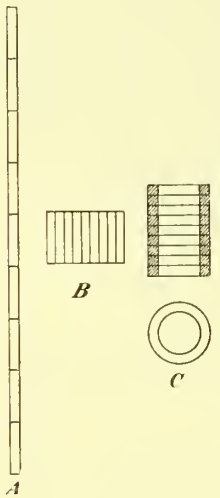


Fig. 12.

Wir betrachten im besonderen noch eine aus vielen Atomen bestehende Molekel, in welcher die Atome kettenförmig aneinanderliegen. Sie ist also der Typus der Molekel eines Fettkörpers, mit der kettenförmigen Anlagerung seiner Kohlenstoffatome. Befindet sich jene Molekel in einer passenden Nahrungsflüssigkeit (sei diese flüssig oder gasförmig), welche wir nach früheren Ueberlegungen (S. 36) dadurch definieren, dass in ihr die in jener Molekel selber vorhandenen Atomarten frei oder in leicht zerlegbaren anderen Molekeln enthalten sein sollen, so sucht jene Molekel, wie wir damals erkannt haben, ihr gleichartige Molekeln zu erzeugen, sie assimiliert. Durch Selektion begünstigt sie gleichartige in ihrer unmittelbaren Umgebung entstehende Molekeln bei dem Kampf ums Dasein, welchen diese mit anderen ungleichartigen Molekeln zu führen genötigt sind. Es entstehen durch Assimilation gleichartige und gleichorientierte Molekeln, und diese legen sich an jene Molekel, welche zu ihrer Entstehung so wesentlich beigetragen hat, an, wenn die Temperaturverhältnisse die passenden sind. Die Anlagerung selber ist noch genauer zu untersuchen.

Wären alle Atome der Molekel gleich gross, gleich geformt und in gleichen Abständen längs einer Geraden aneinandergereiht, obwohl der Art nach teilweise verschieden, so würden sich solche stäbchenförmige Molekeln etwa so aneinanderlagern

können, wie es in Figur 13A oder B oder C dargestellt ist. Besonders in dem Falle, dass die verschiedenen Atome längs der Molekeln grosse Artunterschiede aufweisen würden, wäre wegen der günstigen Resonanzwirkung bei der Neubildung solcher Molekeln die Anlagerung A die wahrscheinlichere. Denn bei dieser letzteren tritt beispielsweise das Atom a′ einer randständigen soeben neu gebildeten Molekel näher an die Gesamtheit der übrigen mit a′ gleichartigen Atome a der schon früher gebildeten gleichartigen Molekeln heran, als bei der durch B dargestellten Anlagerung.

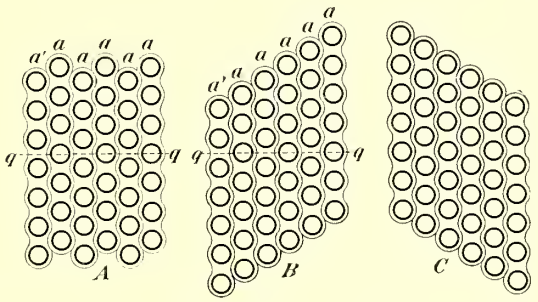


Fig. 13.

Die Assimilationswirkung aller Molekeln zusammen in Bezug auf diese Atomart a ist also bei A, wegen grösserer Nähe des neu sich anlagernden Atomes a′, eine grössere als bei B. Aehnliche Anlagerungen der gleichartigen Molekeln werden zu stande kommen, wenn auch die verschiedenen Atome einer Molekel ungleich gross, ungleich geformt, in ungleichen Abständen aneinandergefügt sind. Nur werden in solchen Fällen die molekularen Aetherhüllen weniger gleichmässig ineinandergreifen.

Schon früher haben wir hervorgehoben, dass die Atome in der Regel nicht die einfache Kugelform besitzen werden, wie wir sie in unseren schematischen Skizzen der Einfachheit halber angenommen haben. Sind die nach qq (Fig. 13) genommenen Querschnitte der Molekeln gleiche Kreise, stets konzentrisch zu den Längsachsen der Molekeln, so werden die Seitenanlagerungen der Molekeln aneinander nach allen Richtungen mit gleicher Wahrscheinlichkeit erfolgen (Fig. 14 A). In allen anderen Fällen liegen aber die Verhältnisse anders. Sind zb. die Querschnitte der Molekeln längliche Parallelogramme, so wird die Anlagerung neuer Molekeln an der längeren Seite des Parallelogramms in der Regel leichter zu stande kommen als die Anlagerung an der kürzeren Seite, weil die Verbindung in jenem Falle eine

stabilere wird (Fig. 14 B). Ist jener Molekelquerschnitt dreieckig, so wird die Zusammenlagerung vieler Molekeln zu einem cylindrischen Molekelaggregat besonders erleichtert (Fig. 14 C).

Solche cylindrische Molekelaggregate werden sich nebeneinander, mit ihren Cylinderflächen aneinanderlegen und Schichten bilden, ähnlich wie die vorher betrachteten stäbchenförmigen Molekeln von kreisförmigem und von parallelogrammatischem Querschnitte. Oder es bilden sich Fäden, durch achsiale Anlagerung der Cylinder aneinander, dadurch dass Basisfläche an Basisfläche sich legt. Wenn die Fäden schichtenförmig auswachsen, wenn jeder Cylinder neben sich neue Cylinder anlagern lässt und also gleichsam einer Schichte den Ursprung giebt, so verdicken sich die Fäden. Die bt. Molekelaggregate bilden sich zu Platten aus, wenn sie stärker nach der Schichtrichtung, dagegen zu Nadeln, wenn sie stärker nach der achsialen Richtung der Cylinder wachsen. Die festen Körper, welche durch Ankristallisieren solcher Cylinder aneinander gebildet werden, unterscheiden sich prinzipiell kaum von den früher betrachteten einfacheren kristallinischen Körpern. Sie sind eben nur aus entsprechend komplizierteren Molekelaggregaten durch Aneinanderlagerung derselben entstanden, ohne damit wesentlich neue Eigenschaften erlangt zu haben.

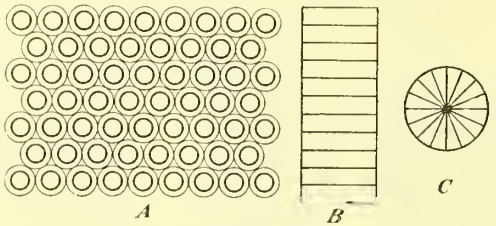


Fig. 11.

Stabiler Gleichgewichtszustand in Gemischen mit Lösungsmitteln.

Für alle bis dahin beschriebenen Körper existieren in der Regel Lösungsmittel, Lösungsflüssigkeiten. Die Molekeln eines solchen Lösungsmittels legen sich überaus innig an die Molekeln der Oberfläche des festen Körpers an. Der Zusammenhang der letzteren mit den ihnen benachbarten festen Molekeln wird dadurch gelockert, so dass nunmehr der kleinste Energieaufwand genügt, um sie ganz von jenen Nachbarn zu trennen, das heisst die Molekeln des festen Körpers gehen in den flüssigen Aggre-

gatzustand über, unter der Einwirkung des Lösungsmittels, ein Vorgang, den man eben die Auflösung des festen Körpers durch das Lösungsmittel nennt. Es ist einleuchtend, dass die Verbindungsfähigkeit von Molekeln des Lösungsmittels mit denjenigen des zu lösenden festen Körpers eine Grenze besitzt. Ueber diese Grenze hinaus vermögen sich solche Molekeln gegenseitig nicht mehr bleibend zu fesseln. Hat das Lösungsmittel so viele Molekeln des festen Körpers abgelöst, dass seine Molekeln sämtlich nicht noch mehr Molekeln des letzteren Körpers bleibend zu fesseln vermögen, so ist das Lösungsmittel mit dem gelösten Körper gesättigt. Der Rest des festen im Lösungsmittel übrig gebliebenen Körpers wird nicht mehr weiter angegriffen, nicht mehr aufgelöst. Wird nunmehr dieser Mischung der beiden Körper, der Lösung, noch weiteres flüssiges Lösungsmittel zugesetzt, so löst dasselbe wieder einen entsprechenden Teil des festen Körpers auf. Wird ihr umgekehrt solche Flüssigkeit entzogen, so muss sich ein entsprechender Teil des gelösten Körpers in fester Form niederschlagen: Unter passenden Bedingungen kristallisiert wieder feste Substanz aus. Zwischen der flüssigen Lösung und dem zu lösenden festen Körper giebt es also einen Zustand stabilen Gleichgewichts, welchem beide Körper zustreben, wenn feste Substanz in genügender Menge vorhanden ist.

Solche Lösungs- und Abscheidungs- bz. Kristallisationsvorgänge, ein Hinstreben nach dem Zustande stabilen Gleichgewichts in Lösungen, also nach der Sättigung hin, finden wir in der Natur weit verbreitet, im unorganischen und im organischen Reiche. Dieselben spielen eine wichtige Rolle bei der Osmose. Alle bis dahin in ihrem Aufbau, ihrem Wachstum von uns beschriebenen festen Körper können in solcher Weise Lösungen eingehen, wenn es nur ein passendes Lösungsmittel für sie giebt. Stets trennen sich dabei benachbarte Molekeln des zu lösenden Körpers vollständig voneinander, oder sie lassen sich durch den geringsten Energieaufwand voneinander trennen; sie gehen selber in den flüssigen Aggregatzustand über.

Mannigfaltigkeit der Substanzen.

Es ist leicht zu übersehen, dass aus den uns bekannten chemischen Elementen durch Aneinanderlagerung von Atomen, durch Molekelbildung in den Grenzen der Anlagerungsfähigkeit

dieser Atome, eine ungeheure Zahl von verschiedenen unorganischen und organischen Substanzen zu stande kommen kann wegen der ungemein mannigfaltigen möglichen Kombinationen. Viel mehr Substanzen sind in dieser Weise denkbar, als jemals Menschen in Händen gehabt haben oder in Händen haben werden. Alle diese Substanzen, in welchem Aggregatzustande sie sich auch befinden mögen, suchen, wenn die passende „Nahrung" in ihrer Umgebung vorhanden ist, neue, gleichartige und gleich orientierte Molekeln zu erzeugen, sie assimilieren. Durch Anlagerung solcher Molekeln erhalten geformte Körper die Fähigkeit des Wachstums. Aber organisierte Körper, dasjenige, was wir unter lebenden Wesen uns vorzustellen gewohnt sind, das sind die bis dahin beschriebenen Körper nicht, wenn auch die Konstitution ihrer Substanzen durch Gehalt an zahlreichen Kohlenstoffatomen noch so weit in das Gebiet der sg. „organischen" Chemie hineinreicht.

C. Fistellen.

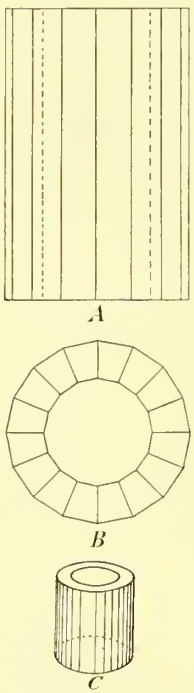


Fig. 15.

Wir kehren zu der Untersuchung über die Aneinanderlagerung mehratomiger Molekeln zurück, welche wir (S. 48) noch nicht weit genug durchgeführt haben; denn es giebt noch unendlich viele andere Molekelquerschnitte, als Kreise, Rechtecke, Dreiecke. Der Querschnitt durch jene länglichen Molekeln nach der Schnittfläche qq (Fig. 13) hindurchgelegt sei beispielsweise ein Trapez. Die Anlagerung solcher Molekeln nebeneinander zeigt Figur 15, A im Aufriss, B im Grundriss, C in (verkleinerter) perspektivischer Ansicht. Es entsteht ein Hohlcylinder. In der Figur sind die Molekeln im Aufriss und im Grundriss nur schematisch durch mittlere ebene Begrenzungsflächen angedeutet. Denn jede von diesen als Stäbchen von trapezförmigem Querschnitt dargestellten Molekeln besteht nach unserer Annahme in Wirklichkeit aus zahlreichen aneinandergereihten Atomen, welche selber ganz beliebige Gestalt

und jedenfalls alle möglichen anderen Querschnitte als denjenigen eines Trapezes haben können. Denken wir uns zb. eine nur etwa aus hundert [1]) Atomen verschiedener Atomformen gebildete Molekel. Sind Atome in diesem Komplexe zahlreich vorhanden, welche die kettenförmige Anlagerung von Atomgruppen zur Molekel bewirken, also etwa Kohlenstoffatome, so wird bei oberflächlicher Betrachtung die ganze Molekel Stäbchenform zu besitzen scheinen, wie die einzelnen Bestandteile des Hohlcylinders der Figur 15. Sieht man näher zu, so erkennt man die einzelnen Atome (Fig. 16) mit ihren Aetherhüllen, welche je nach den Atombewegungen in der Molekel bald mit den Aetherhüllen benachbarter Atome innig zusammenfliessen, bald von denselben fast unabhängig zu sein scheinen. Solche Aetherhüllen, ja sogar ganze Atome können über die schematisch als von Ebenen begrenzt gedachte Stäbchenform der Molekel hervorragen. Die ganze Begrenzungsfläche der aus hundert Atomen bestehenden Molekel wird eine überaus komplizierte sein, um so mehr, als die in der Molekel enthaltenen verschiedenen Atome selber schon komplizierte Begrenzungsflächen besitzen können.

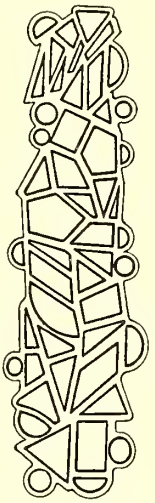


Fig. 16.

Für die Anlagerung verschiedener Molekeln aneinander werden die Formen ihrer Begrenzungsflächen zwar durchaus nicht gleichgültig sein, wohl aber wird die Hervorragung eines einzelnen von etwa hundert Atomen dabei keine wichtige Rolle spielen; dieses Atom wird sich vielmehr bei der Aneinanderlagerung der ganzen grossen Molekeln relativ zu seinen Nachbaratomen verschieben, bis es einen passenden Platz gefunden hat. Wir sind also in der That berechtigt, in unseren schematischen Zeichnungen eine solche aus sehr vielen Atomen bestehende Molekel als Stäbchen darzustellen, dessen Begrenzungsflächen angenähert durch Ebenen gebildet werden. Ebenso wird der als Trapez dargestellte Querschnitt der Molekel, weil er gleichzeitig durch viele verschiedene nebeneinanderliegende Atome

[1]) Es gilt als experimentell feststehende Thatsache, dass Molekeln organischer Substanzen mehrere Tausende von Atomen enthalten können (S. 9).

derselben Molekel gehen wird, in Wirklichkeit eine sehr komplizierte Kurve sein. Das Trapez ist gleichfalls nur eine für unsere weiteren Betrachtungen benutzte erste Annäherung an die wirkliche äussere Begrenzungslinie jenes komplizierteren Querschnitts.

Wie in der organischen Chemie der als ringförmig angenommenen Bindung von Kohlenstoffatomen in den Molekeln der „aromatischen" Körper eine besondere Bedeutung zukommt, so hat hier die von uns behandelte ringförmige Aneinanderlagerung länglicher Molekeln für unsere weiteren Untersuchungen eine erhöhte Bedeutung. Wir wollen deshalb für diese in Figur 15 gezeichneten Molekelkomplexe, welche uns im grossen Ganzen als Hohlcylinder erscheinen, einen besonderen Namen einführen. Solche Hohlcylinder stellen kleine, sogar überaus kleine Röhrchen dar, so klein, dass wir sie auch mit unseren besten optischen Hilfsmitteln nicht sichtbar zu machen vermögen. Wir benutzen für sie den lateinischen Namen „fistella" (Deminutivum von fistula); wir nennen ein solches ringförmiges Molekelaggregat eine Fistelle.

Assimilation der Fistelle.

Die Fistelle (Fig. 15) besteht also aus zahlreichen nebeneinandergelagerten gleichen länglichen Molekeln, diese aus sehr vielen zum Teil gleichartigen, zum Teil ungleichartigen Atomen. Befinden sich andere Substanzen, andere Molekeln, andere Atome in unmittelbarer Umgebung der Fistelle, so werden die Atome der letzteren fortwährend von Stössen der von aussen herankommenden Atome (freier oder anderen Molekeln angehörender Atome) getroffen. Sie werden in Schwingungen versetzt, ihre Aetherhüllen gleichfalls, und diese Schwingungsbewegungen ihrer Aetherhüllen werden als Aetherwellenbewegungen, als Licht nach aussen ausgestrahlt. Durch ihre Lichtausstrahlung gewinnt die Fistelle einen Einfluss auf die Atome, auf die leicht zersetzlichen Molekeln ihrer Umgebung, welche ganz besonders unter diesem Einflusse häufiger als sonst zu neuen Molekeln zusammentreten. Von den neu entstehenden Molekeln wählt die Fistelle die mit den ihrigen gleichartigen durch Selektion aus, indem sie im Kampfe der Molekeln untereinander diese gleichartigen Molekeln vermittelst ihrer Lichtausstrahlung besonders begünstigt. Eine

Assimilation kommt zu stande. Es entstehen in unmittelbarer Nähe der Fistelle, wenn sie von der passenden Nahrungsflüssigkeit (sei dieselbe tropfbar- oder elastisch-flüssig) umgeben ist, fortwährend neue gleichartige Molekeln, welche zu gleichartigen Fistellen zusammentreten, und Fistelle lagert sich an Fistelle an. Die hier sich abspielenden Vorgänge sind ganz ähnlich denjenigen, welche wir schon früher (S. 36) bei den einfacheren Molekeln ausführlich auseinandergesetzt haben.

Einfluss der Strahlung.

Wie die Molekeln, so lagern sich auch die Fistellen nicht ganz beliebig aneinander, sondern nur in gleicher Orientierung. wenn wenigstens bei ihrer Entstehung nicht äussere störende Einflüsse die regelrecht erfolgende Anlagerung derselben verhindern. Legt sich Fistelle neben Fistelle, so geschieht diese Anlagerung nur so, dass sie zusammen eine möglichst stabile Vereinigung eingehen bezüglich der wirkenden Kohäsionskräfte und der wirkenden Strahlung, das heisst dass die sich unmittelbar berührenden Molekeln der beiden Fistellen möglichst ihrer ganzen Länge nach aneinander liegen und dass so viel als möglich benachbarte Molekeln durchweg mit ihren gleichartigen Atomen sich berühren (Fig. 17 A, Seitenansicht; die punktierten Linien deuten den Hohlraum an). Andere Anlagerungen sind hier, wie bei den einfachen Molekeln, weniger stabil (Fig. 17 B). Solche ungünstig angelagerte Fistellen unterliegen im Kampfe mit anderen stabiler angelagerten Fistellen. Sie werden durch Stösse von Molekeln, die von aussen an sie heranfliegen, oder von benachbarten Fistellen so lange wieder von ihren Nachbarn losgelöst, bis sie sich ordnungsmässig, ihrer ganzen Länge nach, an die Nachbarfistellen angelegt haben, bis sie eine feste, stabile Vereinigung mit denselben eingegangen sind.

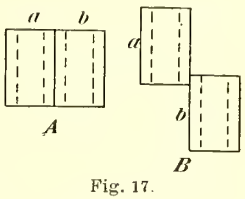


Fig. 17.

Die ebene durchlässige Membran.

Lagert sich in dieser Weise Fistelle an Fistelle, eine neben die andere, so entsteht aus denselben eine dünne, flächenartige Schicht, eine ebene Membran, ähnlich wie solche schon früher

bei Betrachtung der einfachen Molekeln beschrieben worden sind (Fig. 9 S. 40). Die aus Fistellen bestehende Membran besitzt aber eine neue wichtige Eigenschaft: sie ist durchlässig für Molekeln, deren Grösse bz. deren Querschnitt kleiner ist als der Querschnitt des inneren Hohlraums unserer Hohlcylinderchen, unserer Fistellen. Wir erhalten demnach aus den Fistellen die durchlässige Membran.

Durchlässig wäre diese Membran für alle Molekeln, welche ihren kleinsten Hauptquerschnitten zufolge durch den Hohlraum einer Fistelle hindurchschlüpfen könnten, wenn nicht alle Molekeln, alle Atome der Fistelle fortwährend in Bewegung, in Schwingungen begriffen wären. Infolge der fortwährenden Zusammenstösse von Atomen und Molekeln der Fistellen, sowie der ganzen Fistellen selber strahlen die Aetherhüllen der Fistellen Licht aus. Vermittelst dieser Aetherwellenbewegungen suchen die Fistellen die herantretenden fremden Molekeln, ähnlich wie weiter oben des öfteren beschrieben worden ist, in ihre Atome zu zerlegen; sie suchen neue mit ihren Molekeln gleichartige Molekeln zu bilden. Sie sind bestrebt, zu assimilieren. An dieser Membran finden daher, wenn die passende Nahrung vorhanden ist, fortwährend chemische Umsetzungen statt, und nur solche Molekeln können durch die Fistellenhohlräume der Membran hindurchschlüpfen, welche einer Zerlegung in ihre Atome entgehen, sei es dass ihre Atome, wie etwa bei Wasser, überaus stark aneinandergefesselt sind, sei es dass die Eigenschwingungen ihrer molekularen Aetherhüllen mit denjenigen der molekularen Fistellenätherhüllen genügend übereinstimmen, um eine Zerlegung in die Atome, eine Dissoziation nicht zu stande kommen zu lassen. Ausserdem werden aber die einfachen Atome der dissoziierten Molekeln leicht durch die Fistellenhohlräume der Membran hindurchtreten können, wenn ihre Querschnitte dies erlauben und wenn sie nicht unmittelbar nach der Zerlegung der Molekeln wieder an neue Atome gefesselt worden sind, an Atome ausserhalb jener Membran oder an Atome der Membran selber.

Betrachten wir eine aus den Fistellen (Fig. 15) gebildete Membran genauer, so erkennen wir, dass ausser den Hohlräumen der Fistellen selber noch andere Hohlräume in der Membran auftreten, den Zwischenräumen zwischen den aneinandergelagerten Fistellen entsprechend (Fig. 18 i). Vermöge dieser Durchlass-

stellen, dieser Kanäle i ist die Membran im allgemeinen für ganz andere Molekeln bz. Atome durchlässig, als vermöge der weiter oben besprochenen Fistellenhohlräume h. Denn die nach dem inneren Hohlraume h der Fistelle gerichteten Atome der Fistellenmolekeln können und werden in der Regel ganz anderer Art sein als die nach dem Aussenraume i gerichteten. Durch Lichtausstrahlung summieren sich also in den Kanälen i ganz andere Aetherwellenbewegungen als in den Fistellenhohlräumen h. Folglich sind die an den Eingängen in diese beiden Arten von Durchlasskanälen h und i sich abspielenden Zerlegungen von Molekeln und Neubildungen solcher verschieden, und damit sind die Durchlässigkeiten selber für beide Kanalarten verschieden.

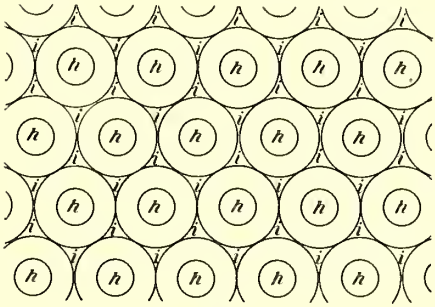


Fig. 18.

Ist die Anlagerung der Fistellenmolekeln aneinander nicht eine überaus energische, lässt sie vielmehr kleine Schwankungen, kleine Verschiebungen der Molekelquerschnitte zu, so werden die Fistellen selber bei ihrer Zusammenlagerung zu einer Membran sich deformieren und dadurch jene Zwischenkanäle i ganz

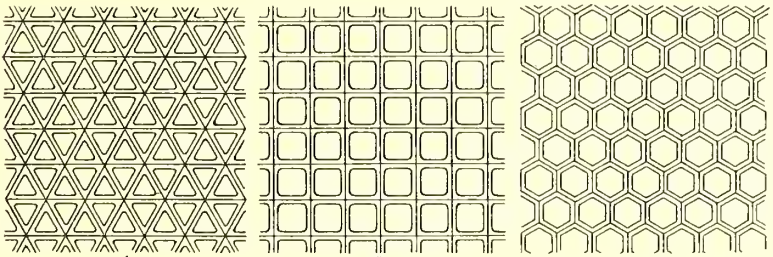


Fig. 19.

unterdrücken können. Je nach der grösseren oder geringeren Deformierbarkeit der Fistellenquerschnitte entstehen dann Membranen mit dreieckigen, viereckigen, sechseckigen Querschnitten

der Fistellenhohlräume, wie dies in Fig. 19 A, B, C schematisch dargestellt ist.

In der Fig. 19 ist jede Fistelle als Ganzes gedacht. Indessen ist der Fall denkbar, dass die zuerst entstandene Fistelle, von Anfang an zb. sechseckig geformt, nur so viele Molekeln zu einer neuen Fistelle anlagert, dass eine von ihren eigenen Wandungen zugleich eine Wandung der neuen Fistelle ist (Fig. 20). Durch solche Anlagerung von Fistellen entstehen Membranen, deren Fistellenhohlräume nicht von doppelten (Fig. 19), sondern nur von einfachen molekularen Wandungen umgeben sind, wie es die Fig. 21 A, B, C deutlich machen soll.

Fig. 20.

Einfluss elektrischer und magnetischer Kräfte.

Die Fistellen entstehen durch Aneinanderlagerung passender gleichartiger stäbchenartiger Molekeln in möglichst gleicher Orientierung. Nun besitzt, wie wir früher (S. 13) schon bemerkten, jede Molekel im allgemeinen mindestens zwei magnetische und in der Regel auch zwei elektrische Pole, weil die anderenfalls nötige Symmetrie aller ihrer Teile, ihrer Atome und ihrer Aetherhüllen, kaum jemals völlig genau erfüllt sein wird. Wegen der gleichen Orientierung der Molekeln bei ihrer Zusammenlagerung zur Fistelle verstärken sich diejenigen gleichartigen Pole, welche an den beiden Enden der stäbchenartigen

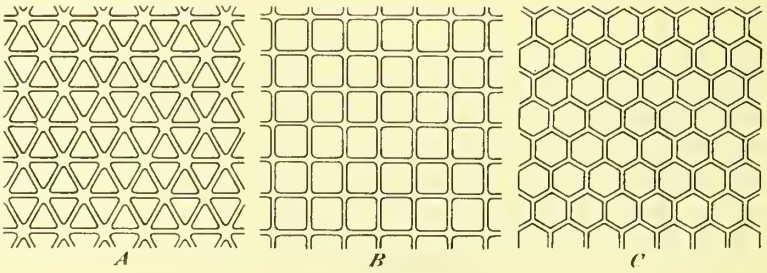


Fig. 21.

Molekeln auftreten, und die Fistelle erhält selber zwei entsprechend stärkere magnetische bz. elektrische Pole, deren Verbindungslinie den Fistellenhohlraum mitten durchsetzt (vgl. die Aneinanderlagerung zahlloser Elementarmagnete zu grösseren

magnetischen Körpern und die Theorie der Wirkungen solcher Körper).

Mit elektrischen und mit magnetischen Polen begabte Fistellen ziehen sich an, ganz ähnlich wie solches schon S. 41 für die einfachen Molekeln gezeigt worden ist. Zwei gleichartige Fistellen legen sich infolge dieser Kräfte so aneinander, dass ihre beiden Hohlräume in unmittelbarer Verlängerung liegen (Fig. 22 A). Denn würde sich etwa eine Fistelle a an eine andere Fistelle b in der Weise, wie dies Fig. 22 B veranschaulicht, anlegen wollen, so würde sie in dieser Lage eine zu geringe Stabilität in ihrer Verbindung mit b besitzen. Fremde, von aussen mit ihr zusammenstossende Atome, Molekeln, Fistellen würden sie so lange und so oft von b wieder abzulösen vermögen, bis sie schliesslich in die stabilste Verbindung, in diejenige der unmittelbaren Verlängerung von b eingerückt wäre.

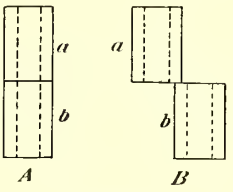


Fig. 22.

Durch solche Anlagerung von Fistellen aneinander vermöge der elektrischen und der magnetischen Kräfte, welche dieselben aufeinander ausüben, müssen lineare Fistellengebilde entstehen, Fistellenfäden, die ihrer ganzen Länge nach von einem feinsten Kanale durchzogen sind (Fig. 23). Ueberwiegen nun bei einer fistellenbildenden Substanz die elektrischen bz. die magnetischen Kräfte, welche die Fistellen linear hintereinander anzulagern suchen, so entstehen vorzugsweise lange fadenförmige Gebilde; überwiegen die übrigen Kräfte, insbesondere die Kohäsionskräfte, welche in Verbindung mit den Wirkungen der Strahlung die Fistellen nebeneinander anzulagern suchen, so bilden sich vorzugsweise Membranen. Jedoch werden jene Fäden wegen seitlicher Anlagerung neuer Fistellen doch stets in die Richtung ihrer Durchmesser auswachsen können, wie auch Membranen durch in der Achsenrichtung der Fistellen sich ansetzende neue Fistellen an Dicke zuzunehmen vermögen.

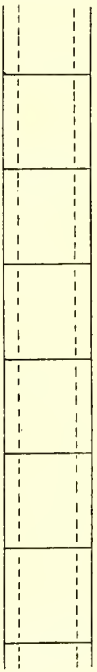


Fig. 23.

Für die Bildung von Fäden oder von Membranen ist die

Gestalt der Fistellen selber nicht unwesentlich. Lange dünne Fistellen legen sich zb. schon wegen der Kohäsionskräfte allein leichter nebeneinander an (Fig. 24 A), weil diese Anlagerung derselben die stabilere ist, sie bilden also Membranen. Kurze dicke Fistellen legen sich aus demselben Grunde leichter hintereinander an (Fig. 24 B), bilden also Fäden. In Fäden aber und in Membranen passen, auch durch ihr ganzes Innere hindurch, die Fistellen genau aufeinander, so dass ihre Hohlräume zusammen durchlaufende Kanäle bilden, wie oben im einzelnen gezeigt worden ist. Denn diese Anlagerung der Fistellen aneinander ist die stabilste. Alle anderen Fistellenvereinigungen unterliegen früher oder später im Kampfe, den sie fortwährend miteinander, mit benachbarten Molekelkomplexen, Molekeln und Atomen führen müssen.

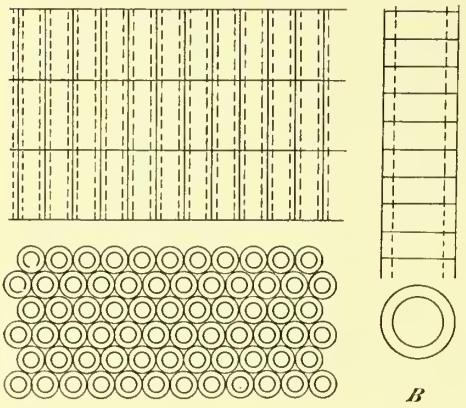


Fig. 24.

Die Quellung.

Körper, welche in der beschriebenen Weise aus Fistellen aufgebaut sind, haben noch eine weitere neue und wichtige Eigenschaft erlangt: sie sind quellungsfähig. Um dies zu verstehen, betrachten wir den Querschnitt einer Fistelle und berücksichtigen den Schwingungszustand ihrer Molekeln und Atome. In der Fig. 25 A ist der Querschnitt der ganzen Fistelle, es sind in derselben auch die Querschnitte ihrer (8) Molekeln ähnlich wie früher in schematischer Weise angedeutet. Ueber-

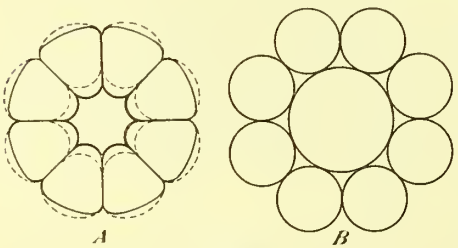


Fig. 25.

dies soll in derselben noch der Sehwingungszustand der Molekeln bezüglich ihrer Radialschwingungen (senkrecht zur Fistellenaehse) dargestellt sein dadureh, dass die engste mögliehe Zusammenlagerung der Fistellenmolekeln ausgezogen, die weitest mögliehe dagegen punktiert gezeichnet ist. Die Grenze der radialen Ausdehnungsfähigkeit der Fistelle ist vermöge der wirksamen Kohäsionskräfte gegeben durch eine gewisse zwischen den unmittelbar benaehbarten Molekeln der Fistelle vorhandene Berührungsfläehe, welehe auch bei den stärksten Ausschlägen der Molekeln nach aussen nicht zu klein werden darf. Die Länge der Fistellenmolekeln wollen wir bei diesem Schwingungsvorgang als unveränderlieh voraussetzen.

Nun denken wir uns die Fistelle in eine Flüssigkeit eingetaueht, deren Molekelquersehnitte etwas grösser sind, als der engste mögliehe in der Fig. 25 A angedeutete Querschnitt des Fistellenhohlraumes, aber doch kleiner als der weitest mögliche von diesen Quersehnitten. In diesem Falle können die Flüssigkeitsmolekeln in die Fistellenhohlräume bei passendem Auseinandersehwingen aller Fistellenmolekeln eindringen. Dadurch werden aber die Fistellen aufgetrieben. Denn wegen der grossen Querschnitte der in ihren Hohlräumen befindlichen Flüssigkeitsmolekeln können sieh die Fistellen bei den Eigenschwingungen ihrer ganzen Molekeln nicht mehr so stark verengern als zuvor. Wegen der neu entstandenen Berührungsflächen von molekularen Aetherhüllen der Flüssigkeits- und der Fistellenmolekeln längs des Fistellenhohlraumes (Fig. 25 B) können andererseits die Fistellenmolekeln nun weiter auseinanderschwingen als zuvor, ohne Gefahr für den Bestand der Fistelle. Es dehnt sich also die Fistelle in ihrem Quersehnitte in der That aus, sie wird gewissermassen durch die in ihren Hohlraum eindringende Flüssigkeitsmolekel aufgetrieben, sie quillt auf. Im gleichen Verhältnisse wie die einzelne Fistelle quillt natürlich die ganze Substanz auf, welche aus solchen Fistellen aufgebaut ist.

Wird einerseits eine aus Fistellen gebildete Substanz in der beschriebenen Weise rein mechanisch durch Eindringen von entsprechend grossen Flüssigkeitsmolekeln in die Fistellenhohlräume zum Quellen gebraeht, so kann sie andererseits aueh infolge von chemischen Einwirkungen, von Umsetzungen Quellungserseheinungen zeigen. Verbinden sieh nämlich Molekeln oder

Atome, nachdem sie in die Fistellenhohlräume eingedrungen sind, chemisch mit den Fistellenmolekeln, so können gleichfalls, je nach der Art ihrer Anlagerung an dieselben, je nach der neuen (Trapez-)Gestalt der Fistellenmolekeln, die Fistellen mehr oder weniger ausgeweitet werden; die Substanz wird mehr oder weniger quellen. Zwischen der physikalischen Anlagerung der in die Fistellenhohlräume eingedrungenen Molekeln durch blosse molekulare Berührung und der chemischen Anlagerung neuer Atome durch Aufnahme derselben in die Fistellenmolekeln selber sind noch Zwischenstufen sehr inniger Berührung denkbar. Sie alle werden, wenn die Querschnitte der in Frage kommenden Molekeln passende sind, zu Quellungserscheinungen Veranlassung geben.

Würde man bei der Verfolgung des innersten Wesens des Quellungsvorganges den Schluss ziehen, in der gequollenen Fistelle sei der Zusammenhang ihrer Molekeln ein lockerer als in der ungequollenen, so wäre dies nicht ganz zutreffend. Durch das Ausweiten der Fistelle beim Quellen werden allerdings die Berührungsflächen der benachbarten Fistellenmolekeln im Mittel kleinere, wenn nicht Atomumlagerungen oder wenigstens Atomverschiebungen in diesen Molekeln mit der Quellung in entsprechender Weise Schritt halten. Andererseits werden aber von den Fistellenmolekeln mit den die Fistellenhohlräume ausfüllenden Flüssigkeitsmolekeln neue Berührungsflächen gebildet, welche zur Steifigkeit, zur Stabilität der ganzen Fistelle bedeutendes beizutragen im stande sind (Fig. 25 B). Demnach kann, je nach den mitwirkenden Umständen, eine gequollene Fistelle steifer, stabiler sein, einen festeren Zusammenhalt ihrer Molekeln erkennen lassen als die ungequollene Fistelle, oder umgekehrt.

Sowohl organische als auch unorganische kompliziertere Körper können sich möglicherweise aus Fistellen aufbauen und sie können in diesem Falle Quellungserscheinungen zeigen. Demnach ist die Quellung an sich noch kein Vorgang, welcher notwendigerweise nur an die von uns als lebende bezeichnete Substanz gebunden ist. Sie ist aber immerhin ein Vorgang, welcher ganz besonders in den organisierten Körpern eine hervorragende Rolle spielt.

Kontraktile Substanz.

Mit der Quellung nahe verwandt sind die Kontraktionsvorgänge. Bei der Ableitung der Quellung haben wir die Voraussetzung gemacht, die Länge der stäbchenförmigen Fistellenmolekeln bleibe bei der Ausweitung der Fistellen ungeändert. Diese Voraussetzung wird im allgemeinen nicht oder doch nicht immer erfüllt sein. Stelle A (Fig. 26) schematisch den Querschnitt einer ungequollenen, B denjenigen einer gequollenen Fistelle dar. Offenbar sind in B die in der Richtung des Kreisumfangs gemessenen Dimensionen der Fistellenmolekeln grösser als in A. Wenn aber eine einzelne Dimension eines Körpers, dessen Volumen konstant bleibt, sich verlängert, so verkürzen sich in der Regel vermöge der inneren elastischen Spannungen die beiden anderen von drei zueinander senkrechten Dimensionen desselben. Die Fistellen werden demnach im allgemeinen durch das Ausweiten nicht nur dünnwandiger, wie die Figur 26 B zeigt, sondern auch kürzer. Eine aus hintereinandergereihten Fistellen gebildete Nadel wird dann kürzer durch Quellung ihrer Fistellen (Fig. 27 A), länger, wenn die Quellung wieder aufgehoben wird (B). Umgekehrt verhält sich eine Membran; sie weitet sich in diesem Falle nach ihren grösseren Dimensionen aus, die gespannte Membran wird schlaff durch Quellung, dagegen wieder straff, wenn die Quellung aufgehoben wird[1]).

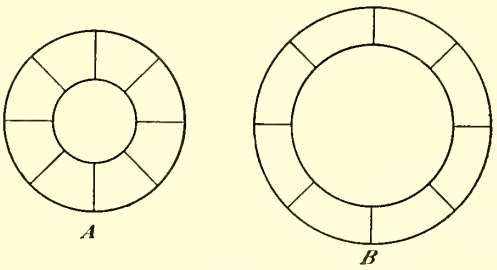


Fig. 26.

Aus den Fistellen bildet sich demnach kontraktile Substanz. Wird durch irgend einen Einfluss (etwa einen von aussen kommenden) die Flüssigkeit, in welcher sich solche Substanz mit ihren Fistellen befindet, oder werden speziell die Flüssigkeitsmolekeln, welche die Fistellenhohlräume erfüllen, umge-

[1]) Vgl. F. Braun, Wied. Ann. **63**, S. 327, 1897: Aenderung der Spannung einer imbibitionsfähigen Membran durch Eintauchen derselben in verschiedene Lösungen.

wandelt in der Weise, dass aus den bisherigen Molekeln kleineren Querschnitts solche grösseren Querschnitts entstehen, so werden die Fistellen durch diesen Vorgang aufgetrieben. Sie erweitern sich durch Quellung, verkürzen sich zugleich. Die ganze Substanz kontrahiert sich nach der einen Richtung, erweitert sich nach den dazu senkrechten Richtungen. Sind zb. die Flüssigkeitsmolekeln zuerst langgestreckte Ellipsoide, welche ihrem kleinsten Querschnitte nach in den Fistellenhohlräumen eben noch Platz haben, und werden sie nun durch einen äusseren, etwa chemischen Einfluss zu inneren Atomumlagerungen veranlasst, deren Folge ihre Umgestaltung in Kugelform ist, so werden dadurch die Fistellen ausgeweitet. Die bt. Substanz kontrahiert sich in der Richtung der Fistellenachsen, dehnt sich aus in Richtungen senkrecht zu diesen Achsen. Bei der Rückverwandlung der Flüssigkeitsmolekeln nehmen die Fistellen ihre frühere Gestalt wieder an, das heisst sie dehnen sich bei derselben aus in der Richtung ihrer Achsen, sie verkürzen sich in Richtungen senkrecht zu diesen Achsen.

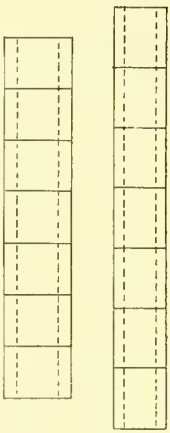


Fig. 27.

Noch in anderer Weise kann kontraktile Substanz aufgebaut sein. Seien zb. die Querschnitte der Fistellenhohlräume längliche Sechsecke (Fig. 28). Dieser Fall kann herbeigeführt werden durch Zusammenlagerung von mehreren verschiedenartigen, aber in bestimmter Reihe aufeinanderfolgenden Molekeln zu Fistellen, so dass nun gewissermassen die ganze Fistelle als einzige Molekel aufgefasst werden darf. Oder es mag die Substanz in ihrer Verbindung mit anderen Substanzen äusserem einseitigem Druck (in der Fig. 28 von oben und von unten) oder einseitigem Zug (von links und von rechts) unterliegen. Wird nun die Flüssigkeit, in welcher sich die betrachtete Substanz befindet, auch in diesem Falle so beeinflusst, dass ihre

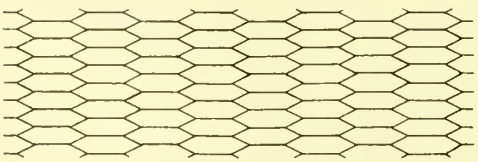


Fig. 28.

in den Fistellenhohlräumen steckenden Molekeln sich ähnlich wie oben in passender Weise umwandeln in solche von grösserem Querschnitt, so kontrahiert sich diese Substanz gemäss der Fig. 28 in horizontaler Richtung, sie dehnt sich aus in vertikaler Richtung und umgekehrt bei der Rückverwandlung. Auch hier ist die „Kontraktilität" der Substanz an das Vorhandensein der Fistellen gebunden.

Verallgemeinerung des Fistellenbegriffs.

Wir haben bis dahin vorausgesetzt, die stäbchenförmigen Molekeln, aus welchen die Fistellen gebildet sind, haben ihrer ganzen Länge nach gleichen mittleren Querschnitt. In diesem Falle entsteht durch ihre Zusammenlagerung zu einer Fistelle allerdings ein Hohlcylinder, wie etwa ein solcher in Fig. 15 abgebildet worden ist. Nun sind aber die Molekeln, welche wir unseren Betrachtungen unterwerfen, als komplizierte Verbindungen zahlreicher Atome gedacht, für welche Atomhaufen von vielleicht 1000 Atomen (S. 51) eine solche Regelmässigkeit der äusseren Form nur einem von unendlich vielen möglichen Fällen entspricht. In der Regel wird also die stäbchenförmige Molekel ihrer Länge nach ungleiche mittlere Querschnitte besitzen. Namentlich wird die längliche Molekel auf der einen Hälfte ihrer Längsausdehnung kleinere Querschnitte haben als auf der anderen Hälfte derselben. Weil sich aber die Molekeln in gleicher Orientierung zur Fistelle zusammenlagern, so muss die aus solchen Molekeln entstehende Fistelle ein Hohlkegelstumpf werden (Fig. 29, A im Aufriss, B im Grundriss, C in perspektivischer Ansicht gezeichnet).

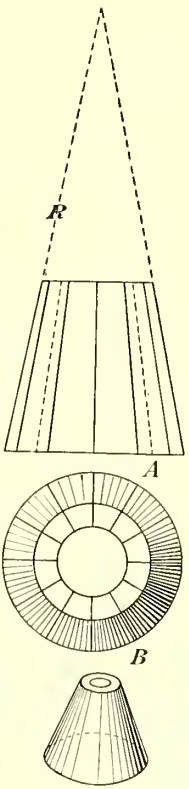


Fig. 29.

Die kugelförmige Membran.

Bildeten die cylindrischen Fistellen durch Anlagerung nebeneinander ebene Membranen (S. 53), so müssen nun aus solchen

kegelförmigen Fistellen kugelförmige Membranen entstehen. Fistelle legt sich bei ihrer Entstehung an Fistelle, bis die Kugelschale geschlossen ist. Der Radius R der entstehenden kugelförmigen Membran ergiebt sich durch Konstruktion, indem man in der Fig. 29 die äusseren schrägen Begrenzungslinien der kegelförmigen Fistelle verlängert, bis sie sich schneiden (Fig. 30). Auch diese Membranen sind für gewisse Flüssigkeiten, für gewisse Molekeln bz. für Atome durchlässig, weil die Achsen der Fistellenhohlräume senkrecht zu der Membranoberfläche gerichtet sind, ähnlich wie bei den mit cylindrischen Fistellen erhaltenen ebenen Membranen.

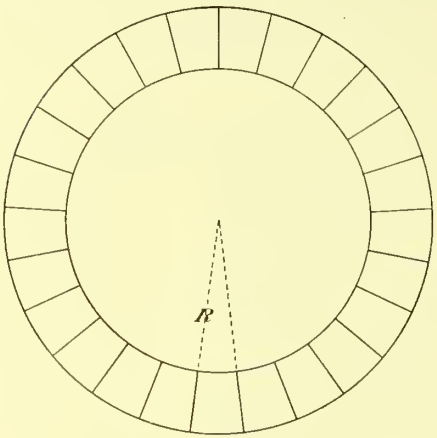


Fig. 30.

Diese kegelförmigen Fistellen legen sich aus denselben Ursachen, die auch bei cylindrischen Fistellen massgebend sind (S. 57, 58), hintereinander an und bilden also Fäden, welche von feinen Kanälen durchzogen sind (Fig. 31). Folglich werden die aus kegelförmigen Fistellen entstehenden kugelförmigen Membranen durch solche Anlagerung neuer gleicher Fistellen hintereinander in die Dicke wachsen; es werden die Fistellenfäden durch Anlagerung neuer gleicher Fistellen nebeneinander in der Richtung ihrer Durchmesser auswachsen, wie dies schon bei den cylindrischen Fistellen gezeigt worden ist. Jedoch macht sich hier ein Unterschied geltend: Zu der beschriebenen kegelförmigen Fistelle gehört, wie wir aus der Fig. 30 erkennen, eine kugelförmige Membran von ganz bestimmtem Radius R. Wächst nun diese Membran in die Dicke, zb. nach innen, so können die Fistellen der inneren neu entstehenden Membran ii (Fig. 32) seitlich nicht mehr genau aufeinanderpassen, weil der Radius dieser Membran etwas kleiner ist als der geforderte Radius R;

Fig. 31.

es müssen daher Zwischenräume zwischen den Fistellen auftreten, wie dies die Fig. 32 deutlich macht. Somit besitzt eine solche innere Membran nicht mehr den gleichen festen Zusammenhalt ihrer Fistellen, wie die ursprüngliche Membran mm, nicht mehr die gleiche Stabilität. Sie wird leichter wieder zerfallen oder doch Störungserscheinungen zu stande kommen lassen, als jene Membran mm. Ganz analog verhält es sich mit gleichartigen kegelförmigen Fistellen, welche sich ausserhalb jener ursprünglichen Membran mm zu einer neuen Membran aa zusammenlagern; auch hier treten Zwischenräume zwischen den Fistellen auf, welche ihren Zusammenhang in dieser Membran lockern. Ganz besonders wird dies geschehen, wenn sich, aus früher schon hervorgehobenen Ursachen, die Fistellen so hintereinander anlegen, dass die äussere Fistelle stets die genaue Verlängerung der inneren bildet, dass stets die Fistellenachsen zusammenfallen, wie in der Fig. 32 für die äusserste Membran aa bezüglich der ursprünglichen Membran mm angenommen wurde. Nur bei dieser Anlagerung der Fistellen hintereinander behält aber die Durchlässigkeit der Membran ihren vollen Wert. Auf solche Störungen der Fistellenanlagerung werden wir später wieder zurückkommen.

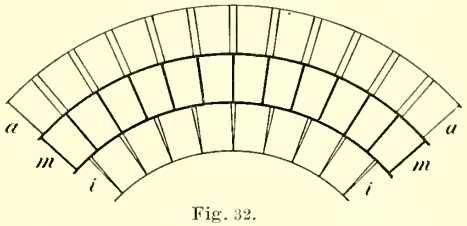


Fig. 32.

Assimilationsvorgang bei hochkomplizierten Fistellen; Anpassung der Molekeln.

Wir haben früher (S. 37) den Satz aufgestellt: Eine Molekel sucht stets, wenn die passende Nahrung in ihrer Umgebung vorhanden ist, eine ihr gleiche Molekel zu erzeugen, diese wieder eine gleiche usf.; die Molekeln suchen zu assimilieren. Eine Molekel, in welcher alle Atome kettenförmig (oder ringförmig) aneinandergereiht sind, wird diese Fähigkeit der Assimilation in stärkerem Grade besitzen, als eine solche, in welcher alle Atome zu einer Kugel zusammengeballt sind. Denn in jener Molekel sind die Atome freier als in dieser, sie können also dort stärker selbständig schwingen als hier, und jedes einzelne

Atom der neu zu bildenden Molekel kann sich neben ein genau gleiches Atom der ursprünglichen Molekel anlegen, was im Falle der kugelförmigen Molekel nicht möglich ist. Die neue Molekel entsteht nämlich, wie wir früher gezeigt haben, wenn sie mehr als zwei Atome enthalten soll, nicht auf einen Schlag, sondern Atom lagert sich an Atom, bis zur vollständigen Ausbildung der ganzen Molekel. Entsprechend der grösseren Atomzahl einer Molekel ist eine um so längere Zeit erforderlich zu deren Zusammensetzung, zu deren völligem Aufbau. Je komplizierter aber eine Molekel ist, um so mehr müssen doch lineare und flächenhafte Atomanlagerungen zu Molekeln den räumlichen Anlagerungen Platz machen. Dass eine Molekel von nur 100 Atomen noch eine rein flächenhafte oder gar eine rein lineare Aneinanderlagerung von Atomen sei, ist ausserordentlich unwahrscheinlich.

Verfolgen wir eine in passender Nahrungsflüssigkeit befindliche fistellenbildende, hochkomplizierte, vielleicht aus 100 Atomen bestehende Molekel bei ihrer Assimilationsthätigkeit, bei ihrer Erzeugung einer ihr gleichen Molekel noch eingehender. Infolge des Schwingungszustandes ihrer Atome, ihrer Aetherhüllen strahlt die Molekel Licht aus. Unter dem Einfluss ihrer Strahlung lagern sich solche Atome an ihr an, welche der Art nach in ihr selber schon vorhanden sind. Sie fügen sich in gleicher Reihenfolge, in gleicher Orientierung aneinander, weil nur dann die Elastizitätsverhältnisse der Aetherhüllen und die gegenseitigen Anziehungskräfte der Atome aufeinander die gleichen sind wie in der assimilierenden Molekel, weil nur dann die Schwingungszustände der in Bildung begriffenen halbfertigen Molekel mit denjenigen der ursprünglichen Molekel möglichst gut harmonieren. Je grösser nun die Atomzahl der in Bildung begriffenen Molekel wird, je näher diese ihrer Vollendung entgegenrückt, um so mehr wirkt ihre gesamte Masse auf diejenige der ursprünglichen Molekel ein, an welche sie sich angelagert hat. Zusehends verändern sich, solchen Einwirkungen entsprechend, die Elastizitätsverhältnisse und demnach auch die eigenen Aetherhüllenschwingungen in der ursprünglichen Molekel. Daher steht die neu zu bildende zweite Molekel, noch bevor sie vollständig abgeschlossen ist, schon nicht mehr unter genau den gleichen Resonanzbedingungen — vermöge des von der ursprünglichen ersten

Molekel ausgestrahlten Lichtes — wie am Anfange ihres Entstehens. Die neue Molekel wird sonach den veränderten Bedingungen sich anpassen müssen, sie wird um einen entsprechenden, vielleicht sehr geringen Betrag anders geschlossen als die ursprüngliche Molekel. Sie wird ein Atom in veränderter Anlagerung oder ein Atom mehr oder ein Atom weniger, oder statt des einen Atoms ein solches anderer Art in sich aufnehmen. Ihre Eigenschaften werden dadurch geändert, jedoch, weil es sich in dieser Molekel bereits um eine sehr grosse Ansammlung von Atomen handelt, unter Umständen nicht einmal so viel, dass wir mit unseren Mitteln diese Aenderung nachzuweisen vermöchten.

Die erste vorhandene stäbchenförmige hochkomplizierte Molekel, von welcher nun die Fistellenbildung ausgeht, hat soeben eine etwas, wenn auch wenig von ihr verschiedene Molekel durch Assimilation erzeugt, und beide Molekeln lagern sich aneinander, wenn die Temperaturen nicht zu hohe sind, mit ihren trapezförmigen Querschnitten in die Ringform sich einfügend. Auf ihrer anderen Seite erzeugt die erste Molekel wieder eine neue Molekel und lagert sie an; aber auch jene zweite Molekel erzeugt neben sich eine neue Molekel, und so schreitet der Vorgang der Neubildung und Anlagerung, der Assimilation fort, bis so viele Molekeln gebildet sind, dass der Ring sich schliesst zu einer Fistelle. Diese Fistelle besteht jetzt möglicherweise aus lauter verschiedenen Molekeln. Es können in einzelnen von diesen Molekeln Atome vorhanden sein, welche in den anderen fehlen. Wir sind dann unter Umständen genötigt, in chemischer Beziehung eine solche Fistelle als eine einzige Molekel aufzufassen.

Die ursprüngliche Molekel (Fig. 33a, im Querschnitt) hat aber gleichzeitig nach allen Seiten ihre Wirkungen ausgeübt, und wenn sie auf einer Seite eine neue Molekel b erzeugte, so konnte sie mit grosser Wahrscheinlichkeit auf der anderen Seite eine gleiche Molekel b erzeugen. Diese Molekeln b liessen neue Nachbarmolekeln c entstehen usf., bis der Ring geschlossen war. So konnten paarweise verschiedene, aber unter sich doch sehr ähnliche Molekeln bb, cc, dd usf. enstanden sein. Sie haben sich zu einer Fistelle zusammengelagert, welche in ihrem Quer-

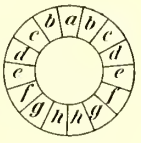


Fig. 33.

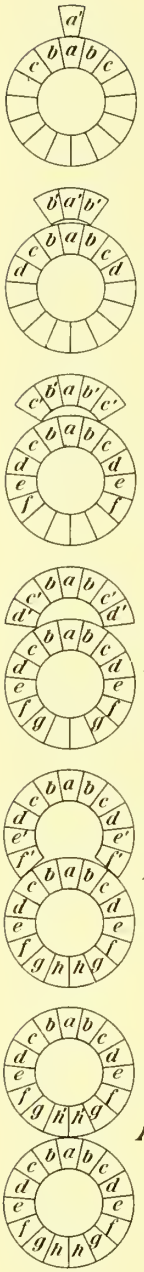


Fig. 34.

schnitt eine Symmetrieachse besitzt. Die Basis dieser Fistelle braucht aber nicht mehr aus Kreisen oder aus regelmässigen Polygonen gebildet zu sein. Ihre Grundform kann vielmehr in diesem Falle, weil eben die Molekeln, welche die Fistelle zusammensetzen, paarweise verschieden sind, eine elliptische, eine ovale, ein in die Länge gezogenes Sechseck (vgl. Fig. 28, S. 62) sein, oder zb. ein längliches Fünfeck, Viereck, Dreieck usf.

Wird eine solche Fistelle, wenn die passende Nahrungsflüssigkeit in ihrer Umgebung sich vorfindet, und wenn keine äusseren störenden Wirkungen sich geltend machen, wiederum eine ihr gleiche Fistelle zu erzeugen im stande sein? Ohne Zweifel! Sei zb. die Molekel a der Fistelle (Fig. 33) die bezüglich der Assimilation nach aussen wirksamste, das heisst diejenige, welche die stärkste Aetherhüllenschwingungsbewegung ausstrahlt. In ihrer Nähe bildet sich durch Assimilation eine neue Molekel a′, welche a ähnlich ist. Die beiden Molekeln a und a′ sind unter Umständen nicht völlig gleich, weil a noch die Nachbarmolekeln bb angelagert hat, a′ aber eine freie Molekel ist (Fig. 34 A). Unter den vereinigten Einflüssen der Strahlung von bb und von a′ entstehen durch weitere Assimilation Molekeln b′b′, ähnlich den Molekeln a′ und bb, und sie lagern sich an a′ an (Fig. 34 B). Nun hat die Molekel a′ ihre unmittelbaren Nachbarn erhalten wie a, und weil alle diese Molekeln aa′ und bb′ nur geringe Unterschiede voneinander aufweisen (S. 67), so wird nunmehr die Molekel a′ unter dem Einflusse der Lichtausstrahlung von a das ihr etwa noch fehlende Atom aufzunehmen bz. ein Atom umzulagern vermögen: es wird jetzt die Molekel a′ genau gleich a werden. Gleichzeitig bilden sich neben b′b′ neue Molekeln c′c′, ähnlich denjenigen cc, hierauf werden die Molekeln b′b′ genau gleich den Molekeln bb usf. Figur 34 A—F soll die Entstehungsweise der neuen

Fistelle illustrieren. Wenn nicht so schnell die Molekel a′ der neuen Fistelle in eine Molekel a umgewandelt wird, wie hier angenommen worden ist, so wird sie es doch mit der Zeit, während der Bildung der letzten Molekeln der neuen Fistelle, oder zum mindesten, wenn die neue Fistelle zwar bereits zu einem Ganzen sich geschlossen hat, aber doch vermöge ihrer Anlagerung an die ursprüngliche Fistelle noch unter dem Einflusse der gesamten Lichtausstrahlung der letzteren steht. So wirkt Fistelle auf Fistelle ein, die erste auf die zweite und ebenso die zweite auf die erste vermöge ihrer Lichtausstrahlung, und sie suchen einander immer ähnlicher, zuletzt einander ganz gleich zu werden, wenn ihre Nahrungsbedingungen gleich, wenn die Einflüsse von aussen auf beide die nämlichen sind.

Die cylindrische Membran.

Dass aus Fistellen, welche nicht einen kreisförmigen, nicht einen regelmässig polygonen Querschnitt, welche namentlich an verschiedenen Stellen unähnliche Querschnitte besitzen, andere als die bisher behandelten ebenen und kugelförmigen Membranen entstehen müssen, versteht sich von selbst. Es sei zb. die Fistelle weder eine cylindrische noch eine kegelförmige. Sie habe vielmehr an verschiedenen Stellen verschiedene einander nicht ähnliche elliptische Querschnitte; es seien dabei die entsprechenden grossen Achsen dieser elliptischen Querschnitte zwar überall gleich, dagegen seien die kleinen Achsen derselben grösser am einen als am anderen Ende der Fistellen, wie Figur 35 A im Aufriss, B im Grundriss, C in der Seitenansicht, E in perspektivischer Ansicht zeigen soll[1]). Solche Fistellen legen sich zu einem Hohl-

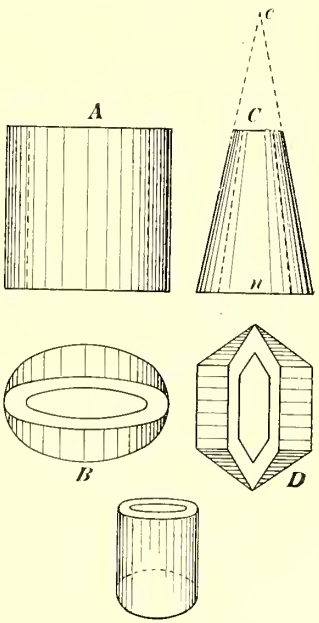


Fig. 35.

[1]) Die beschriebene Fistelle ist einigermassen ähnlich einem kurzen Schlauchstück, dessen eines Ende seitlich etwas zusammengedrückt wird.

cylinder, zu einer cylindrischen Membran zusammen (Fig. 36, verkleinert), zu einem hohlen Fistellenfaden mit durchlässiger Wandung, dessen äusserer Radius R = cn aus der Figur 35 C zu entnehmen ist, während seine Länge unabhängig ist von diesem Fistellenbau. Analog würden sich entsprechende Fistellen verhalten, deren Querschnitte nicht elliptische wären, sondern etwa längliche Sechsecke (Fig. 35 D).

Es möge diese Fistellenröhre in eine Flüssigkeit eintauchen, deren Molekeln eben noch in den engsten Teilen der Hohlräume der Fistellen Platz haben. Werden nun durch irgend eine äussere (etwa chemische) Einwirkung die Flüssigkeitsmolekeln verändert, so dass ihre bezüglichen Querschnitte vergrössert werden, wie wir dies schon früher (S. 62) erläuterten, so müssen dadurch die elliptischen Querschnitte der Fistellen der Kreisform sich zu nähern suchen. Infolgedessen erweitern sich die Fistellen namentlich in ihren engsten Teilen, es erweitern sich die ganzen Fistellenröhren. Die letzteren nehmen grössere Radien cn (Fig. 35 C) an, sie verkürzen sich dafür in ihrer Achsenrichtung. Eine solche Fistellenröhre ist also „kontraktile Substanz".

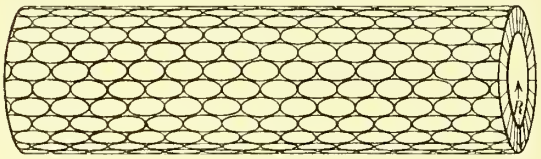


Fig. 36.

Membranen komplizierterer Krümmungen; Anpassung der Fistellen.

Sind die Fistellenquerschnitte zwar gleichfalls alle elliptisch, aber sowohl die grossen als auch die kleinen Achsen der Ellipsen an beiden Enden der Fistelle ungleich, auch nicht im gleichen Verhältnis zu einander stehend, nicht einander ähnlich[1]), wie dies aus der Figur 37 hervorgeht (A Anfriss, B Grundriss, C Seitenansicht, D perspektivische Ansicht), so entspricht der Anlagerung der Fistellen nebeneinander in der einen Richtung ein anderer Krümmungsradius (Fig. 37 A c_1 n_1) als derjenigen in der anderen Richtung (Fig. 37 C c_2 n_2,). Eine Mem-

[1]) Ein konisch verjüngtes Schlauchstück, dessen engeres Ende seitlich etwas zusammengedrückt wird, giebt uns ein Bild für eine solche Fistelle.

branform, in welcher dieser Fistellenanlagerung vollkommen Genüge geleistet werden könnte, giebt es nicht. Es müssen sich also die Fistellen teilweise wechselnden Bedingungen anpassen, sie müssen sich in ihren Querschnitten entsprechend deformieren. Es entsteht daher eine Membran, deren Längsschnitt A und Querschnitt B in Figur 38 in passender Verkleinerung dargestellt sind. Diese Membran entspricht etwa einem Ovoid; sie hat

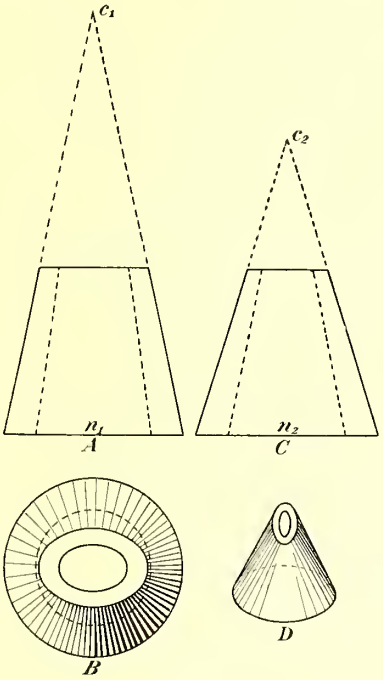


Fig. 37.

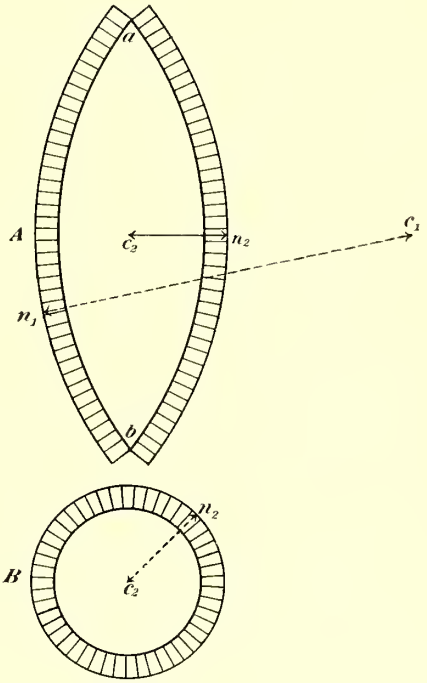


Fig. 38.

zwei Pole a b, an welchen die Fistellen am wenigsten oder vielmehr gar nicht aufeinanderpassen, wie aus der Zeichnung im Längsschnitt A ersichtlich ist. Wie aber eine hochkomplizierte Molekel durch fortschreitende Assimilation und Anlagerung einer zweiten ähnlichen Molekel in ihrer eigenen Struktur um so viel geändert werden kann, dass diese zweite Molekel nicht mehr völlig genau die gleiche Atomzusammenlagerung erhält wie jene erste, so ergeht es auch den komplizierteren Fistellen. Ganz besonders ist dies der Fall, weil sie, wie in jener Membran (Fig. 38), mit ihren zugehörigen Krümmungsradien c_1 n_1 und

c_2 n_2 um so weniger in die Membran hineinpassen, je näher sie den Polen a und b liegen. Die Fistellen verändern sich dementsprechend ihrer Zusammensetzung nach, sie passen ihre Gestalt den Verhältnissen, den äusseren Bedingungen mehr und mehr an. Schliesslich wird auch in der zugehörigen Membran die Abrundung an den Abschlussstellen, an den Polen a und b eine bessere, als es ohne diese Abänderung der Fistellen und ihrer Molekeln möglich wäre. Daher muss, wie wir schon bei den hochkomplizierten Molekeln gefunden haben (S. 67), so auch bei den aus diesen aufgebauten Fistellen eine Anpassung an ihre Umgebung, an die gegebenen äusseren Verhältnisse erfolgen, welche ihre Existenzfähigkeit zu erhöhen vermag.

Die Membran als chemische Werkstätte.

Durch die rege molekulare Thätigkeit in unmittelbarer Umgebung der Membranen werden unter dem Einfluss der Strahlung fortwährend neue Molekeln gebildet. Dieselben entstehen aber nicht plötzlich, nicht auf einen Schlag, wie wir schon früher hervorgehoben haben, sondern es muss mehr oder weniger langsam Atom an Atom gereiht werden, bis die ganze Molekel gebildet ist. Es reiht sich Molekel an Molekel zur Fistelle. Wenn trotzdem der Vorgang des Wachstums vor unseren Augen sich abspielt, so haben wir dies nur der ganz ungeheuren Zahl von Molekel- und von Atomzusammenstössen zuzuschreiben, welche schon in dem allerkleinsten uns eben mit den besten Mikroskopen noch sichtbaren Raume erfolgen. Je komplizierter dabei die Molekel ist, um so länger wird es dauern, bis sie aus den Grundstoffen, aus den einfachen Molekeln von 1, 2, 3, 4 . . . Atomen durch Zerlegung derselben und durch neue Verbindung der Atome eine ihr gleiche Molekel gebildet hat.

Aeussere Einflüsse bei der Assimilation, Nahrung, Belichtung.

In ihrem Bestreben, ihr gleiche Molekeln neu zu erzeugen, zu assimilieren, kann die Molekel unterstützt werden durch äussere Einflüsse, welche ihre Wirkungen vermehren. Ein wichtiger äusserer Faktor ist die zur Verfügung stehende Nahrung, aus welcher die neuen Molekeln durch Assimilation

aufgebaut werden. Ist die neu zu bildende Molekel sehr kompliziert, so wird ihre Entstehung erleichtert, wenn gewisse vorgebildete einfachere Molekeln da sind, welche die ausgestrahlten Lichtschwingungen der zu bildenden Molekelart leicht aufnehmen, welche unter diesem Einflusse etwa einzelne Atome abgeben, dafür aber andere neue Atome oder Atomgruppen sich einverleiben. Substanzen, die aus solchen besonders assimilationsfähigen Molekeln bestehen, werden eben als „Nahrung" bezeichnet für diejenige Molekelart, welche aus denselben durch Assimilation ihr gleiche Molekeln erzeugt. Bekanntlich giebt es sehr viele hochkomplizierte Substanzen (zb. in Parasiten, in Tieren), welche nur mittels einer Nahrung aus selber schon komplizierten Molekeln zu assimilieren, also zu wachsen vermögen, Substanzen, welche so leicht zersetzliche Molekeln haben, dass diese im Kampf ums Dasein selber erliegen, dass sie durch Zersetzung zerfallen, wenn ihnen nicht ihre passende Nahrung fortwährend geboten wird.

Sodann wird in vielen Fällen die Leistung der assimilierenden Molekel ganz bedeutend verstärkt durch passendes, etwa weisses Licht, mit welchem sie von aussen bestrahlt wird. Vermöge der Resonanzfähigkeit wird die Aetherhülle der assimilierenden Molekel hauptsächlich die Lichtwellenbewegung derjenigen Wellenlängen absorbieren, welche ihren Eigenschwingungen entsprechen. Die Aetherhülle der Molekel wird dadurch in stärkere Eigenschwingungen versetzt, sie strahlt das ihr eigene Licht in stärkerem Masse als ohne diese neu hinzutretende Ursache wiederum aus. Andere Molekeln oder Atome, welche in ihrer Umgebung sich befinden, werden daher gleichfalls stärkere Schwingungsbewegungen in sich aufnehmen, als ohne diese verstärkte Strahlung der assimilierenden Molekel. Sie werden leichter dissoziiert, leichter in neue Molekeln umgewandelt, in solche Molekeln nämlich, deren Eigenschwingungsbewegungen genau die gleichen sind wie diejenigen jener assimilierenden Molekel, also in Molekeln, welche dieser letzteren selber gleich sind. Durch eine derartige verstärkte Assimilation werden gleiche Molekeln in verstärktem Masse und in grösserer Menge erzeugt.

Ausserdem wirkt das gewöhnliche Licht auf alle Molekeln mehr oder weniger dissoziierend ein, und dadurch begünstigt es oft die Umwandlung der einen in eine ganz andere Molekelart. Bei jeder Art und Intensität des zugestrahlten Lichtes muss

nämlich eine bestimmte aus einer und derselben Atomgruppe aufgebaute Molekelart die stabilste sein, weil die Affinität eine Funktion des Lichtes ist [1]). Alle anderen Molekelarten werden leichter dissoziiert als diese. Die Molekeln jener leicht dissoziierbaren Arten sind daher ganz besonders günstige Nahrung für die assimilierende Molekel.

Solche verstärkende äussere Einflüsse können aber in vielen Fällen fehlen. Oft mag keine zu völliger Assimilation genügende Nahrung mehr da sein; oder es haben die Molekeln durch ihre Zusammenlagerung zu grösseren Körpern an den Körperoberflächen eine derartig veränderte Struktur erhalten, dass sie nicht mehr genau und kräftig genug ihre ursprünglich vorhandene Eigenlichtwellenbewegung ausstrahlen, um bis zu völliger Gleichheit neue Molekeln zu assimilieren. Oder es können fremde in der Nähe befindliche Molekeln gleichfalls kräftiges Eigenlicht ausstrahlen und dadurch Störungen hervorrufen. Sind in solchen Fällen die zuletzt assimilierten Molekeln nicht an sich schon leicht zersetzlich, sondern stabil, also siegreich im Kampf ums Dasein mit den benachbarten ganz ungleichartigen Molekeln, so können sie doch noch eine schöpferische Thätigkeit entfalten. Wir haben schon früher (S. 67) gesehen, dass unter diesen Umständen Molekeln assimiliert werden, welche den assimilierenden Molekeln nicht vollkommen gleich sind, welche sich um ein, um mehrere Atome von ihnen unterscheiden können. Es treten solche Abweichungen in der Konstitution der Molekeln um so leichter ein, je komplizierter die zu assimilierenden Molekeln sind und je mehr die äusseren Bedingungen (die Lebensbedingungen, das von aussen befindlichen anderen Molekeln zugestrahlte Licht usf.) wechseln.

Zweiter biologischer Fundamentalsatz.

Nach dem ersten biologischen Fundamentalsatz: „Die Substanz hat das Bestreben, sich zu vermehren", muss stetsfort gleichartige Substanz entstehen wie die bereits vorhandene, wenn die passende Nahrung vorhanden ist. Fehlt aber die letztere, sei es dass nicht die passenden leicht zersetzlichen Nahrungsmolekeln zugegen sind, sei es dass andere allgemeine auch unter

[1]) Vgl. Mechanik des Weltalls, S. 68, 117.

den Begriff der „Nahrung“ zu vereinigende äussere Wirkungen der Wärme, des Lichts, der Feuchtigkeit usf. nicht in normaler Weise erfüllt sind, so können gleichwohl unter Umständen neue Molekeln assimiliert werden. Nur diejenigen assimilierenden Substanzen bleiben aber erhalten, welche für ihr weiteres Dasein vorteilhafte neue Molekeln erzeugen. Solche Molekeln müssen den neuen allgemeinen Nahrungsbedingungen sich angepasst haben, sonst assimilieren sie nicht weiter, gehen vielmehr zu Grunde. Wir gelangen daher zu dem zweiten biologischen Fundamentalsatz: Die Substanz hat das Bestreben, sich ihren Daseinsbedingungen anzupassen. Schon bei den einfachsten Molekeln fanden wir eine solche Anpassung, indem die bei der Assimilation zur Molekel zusammentretenden Atome den Daseinsbedingungen der zu bildenden Molekel sich anpassen müssen, wenn eine solche Molekel überhaupt Bestand haben soll. Je komplizierter die Molekeln, die Molekelaggregate, die Fistellen sind, um so leichter können sie durch Atomumlagerungen oder durch Anlagerung eines Atoms mehr oder eines solchen weniger oder durch Anlagerung eines Atoms ganz anderer Art usf. den Daseinsbedingungen sich anpassen. Wie sich weiterhin Fistellengebilde, kleine und grosse Lebewesen ihren Daseinsbedingungen anpassen, wird aus den folgenden Entwicklungen hervorgehen.

Entstehung neuer Molekelarten durch Assimilationsvorgänge; Gegenseitigkeitsverhältnis.

Indessen können noch Molekelarten durch assimilierende Molekeln erzeugt werden, welche von ihnen vollständig verschieden sind, wie wir nun zeigen werden. Von den unendlich vielen möglichen Molekeln muss es nämlich solche geben, welche zwar nicht in allen, aber doch in den wichtigsten am stärksten zur Geltung kommenden Schwingungsbewegungen ihrer Aetherhüllen untereinander nahe übereinstimmen, obgleich im übrigen ihre Zusammensetzung aus Atomen eine total verschiedene ist. Es ist klar, dass solche Molekeln niemals in vollkommener Resonanz zu einander stehen. Den Wellenbewegungen, welche eine sehr komplizierte, beispielsweise eine aus hundert Atomen bestehende Molekel ausstrahlt, kann Licht nicht nur von Tausenden, sondern sogar von Millionen ganz wesentlich verschiedener Wellen-

längen entspreehen. Sind nun zwei Molekeln vollkommen gleich aufgebaut, so senden sie alle diese Wellenbewegungen genau gleich aus, wenn sie gleich erregt sind [1]). Zwei völlig versehiedene Molekelarten können dagegen sieher wenigstens die gleichen hauptsächliehen, in grösster Intensität vorhandenen Schwingungsbewegungen haben. Solehe Molekelarten sind dann miteinander verträglieh. Sie können beide nebeneinander bestehen, ja sie können sogar einander gegenseitig assimilieren, vermöge der Resonanz auf jene Hauptsehwingungszustände ihrer Aetherhüllen, wenn nur jeweilen die passende Nahrung dazu vorhanden ist. Denn bei der Assimilation dureh Resonanzwirkung, der Strahlung zufolge, müssen doch die intensivsten, die Hauptschwingungen der assimilierenden Molekel eine massgebende Rolle spielen, die sehwäeheren Schwingungen treten dagegen in den Hintergrund zurüek. Ganz besonders wird die kompliziertere von zwei solehen miteinander verträglieheu Molekelarten nieht immer die ihr gleiehe, sondern unter Umständen nur die einfachere Molekelart durch Assimilation zu erzeugen im stande sein. Dieser Fall tritt ein, wenn die derselben dargebotene Nahrung mit leiehtem Energieaufwand in die einfachere Molekelart verwandelt werden kann, wenn es aber nur unter ersehwerenden Umständen, auf grossen Umwegen gelingt, die Nahrungsmolekeln unmittelbar in die kompliziertere Molekelart zu verwandeln; die letztere Umwandlung kann vielleieht wegen nieht zu überschreitender, in sieh stabiler, chemiseh fast unzerstörbarer Zwisehenzustände sogar unmöglich sein. Demzufolge stehen solche im übrigen ganz verschieden aufgebaute Molekelarten in einem gewissen Gegenseitigkeitsverhältnisse zu einander. Sie begünstigen sieh gegenseitig, wirken durch Selektion im Kampf ums Dasein fördernd aufeinander ein, vermöge der teilweisen Resonanz, in weleher sie zu einander stehen.

Wenn eine bestimmte Molekel oder eine aus solchen bestehende Substanz unter den genannten Umständen eine andere ungleiehartige Molekel erzeugt hat, welche mit ihr in solehem Gegenseitigkeitsverhältnisse steht, dann wird von dieser neuen Molekel im Verein mit jener ersteren Substanz in verstärktem

[1]) In verschiedenen Erregungszuständen sind Verschiedenheiten der ausgesandten Liehtarten denkbar und sogar wahrseheinlieh.

Masse aus der vorhandenen Nahrung assimiliert. Es werden mehr und mehr Molekeln der entspreehenden zweiten Substanz gebildet und beide Substanzen können nebeneinander bestehen, ohne sieh wesentlieh zu beeinträchtigen. Die beiden Substanzen werden sieh miteinander misehen, wenn die Beweglichkeitsverhältnisse beider Molekelarten, wenn ihre gegenseitigen Anziehungskräfte entsprechende sind, anderenfalls werden sie sich neben- oder übereinander anlagern.

Da wo zwei solche versehiedenartige Molekeln nebeneinander sich befinden, werden Liehtwellenbewegungen ausgestrahlt, welehe den Sehwingungsbewegungen beider Molekelarten entspreehen. Diese Wellenbewegungen können zum Teil interferieren. Aus zwei von den ungleiehartigen, aber bestimmt orientierten Molekeln stammenden Sehwingungsbewegungen, deren Schwingungszahlen in ganzzahligem Verhältnisse zu einander stehen, entstehen in diesem Falle dureh Kombination neue entspreehend abgeänderte periodisehe Schwingungsbewegungen. An solchem Orte kann also eine dritte, vielleieht kompliziertere, vielleieht einfachere Molekelart noch stabiler sein als jede von jenen beiden ersten Molekelarten. An der Berührungsstelle zweier versehiedener Substanzen entsteht somit eine dritte Substanz, wenn passende Nahrung dort vorhanden ist. Aus drei Substanzen kann in ähnlieher Weise eine vierte, aus diesen eine fünfte entstehen usf., ganz abgesehen davon, dass mit jeder einzelnen Substanz allein sehon mehr als eine andere Substanz in jenem oben beschriebenen Gegenseitigkeitsverhältnisse, bezüglieh der Resonanz, stehen kann. Wenn also einmal Substanzen von kompliziertem Molekelbau vorhanden sind, so kommt es wesentlieh auf die in ihrer Umgebung befindliehe Nahrungsflüssigkeit an, ob durch Assimilation vermöge der Resonanzwirkungen nur die der ursprünglichen gleiche Substanz fort und fort gebildet werde, oder ob eine zweite, eine dritte, ob 10, ob 100 oder mehr ganz versehiedene Substanzen neu erzeugt werden.

D. Fistellengebilde.

Bläschen, Körnchen, Röhrchen, Fibrillen.

Wie jede Substanzoberfläehe, so ist ganz besonders jede Membran eine Werkstätte für fortwährende chemische Umwand-

lungen vermöge der von einer Substanz ausgehenden und dort in eine andere Substanz übergehenden Strahlung (S. 72). Weil die stäbchenartigen Molekeln der Fistellen in der Membran in bestimmter Weise orientiert, aber im allgemeinen an ihren beiden Enden verschieden sind, verschiedene den Abschluss bildende Atome besitzen, so sind die zu beiden Seiten einer Membran durch die Eigenschwingungen der molekularen Aetherhüllen ausgestrahlten Lichtwellenbewegungen nicht gleich, sondern zum mindesten dem Intensitätsverhältnisse nach ungleich. Entsteht also, nach den soeben ausgeführten Entwicklungen, durch Assimilation der Membransubstanz bei entsprechender Nahrungsflüssigkeit in ihrer Umgebung eine zweite, eine dritte neue von der Membran verschiedene Substanz, so werden auch diese Substanzen zu beiden Seiten der Membran verschiedene sein. Besonders gross müssen solche Verschiedenheiten ausfallen, wenn die betrachtete Membran eine geschlossene Fläche bildet. Denn in diesem Falle dringen durch die Fistellen der Membran nur ganz bestimmte Molekeln, bestimmte Stoffe hindurch (S. 54). Die Nahrungsflüssigkeit innerhalb der Membran, in dem von ihr gebildeten geschlossenen Raume, ist daher eine andere als aussen. Es wird sich folglich der Innenraum der Membran mit einer neuen Substanz mehr und mehr anfüllen, welche verschieden ist von den ausserhalb der Membran schon früher vorhandenen und von den dort neu entstandenen Substanzen.

In ganz analoger Weise können nun durch die Membran und die innen gebildete zweite Substanz zusammen noch eine dritte, eine vierte, noch eine grosse Zahl von weiteren Substanzen erzeugt werden, wenn nur die nötige und passende Nahrung dazu da ist. In unmittelbarer Nachbarschaft, in fortwährender Berührung miteinander sind aber nur ganz bestimmte ungleichartige Substanzen beständig. Dieselben müssen entweder an sich schon sehr stabile, unzersetzliche einfache Molekeln haben, oder, weil sehr komplizierte Molekeln mit zahlreichen Atomen in der Regel leicht zersetzlich sind, zum mindesten Molekeln, welche wenigstens in den Hauptschwingungszuständen ihrer Aetherhüllen in Resonanz zu einander stehen.

Wir haben gezeigt, wie aus cylindrischen Fistellen eine ebene Membran, wie aus kegelstumpfartigen Fistellen eine kugelförmige Membran, wie aus Fistellen, welche einer gewissen

Zwischenform zwischen Cylinder und Kegelstumpf entsprechen, eine cylindrische Membran entstehen muss. Wird innerhalb der kugelförmigen Membran eine zweite Substanz erzeugt, wie es nach unseren soeben angestellten Betrachtungen im allgemeinen der Fall ist, eine Substanz, welche von den Substanzen der äusseren Umgebung der Membran und von der Membran selber verschieden ist, so haben wir ein von einer Membran eingehülltes kugeliges Gebilde, ein entsprechendes kleines Kügelchen vor uns. Wir wollen es ein „Bläschen" nennen, wenn die innerhalb der Membran entstandene zweite Substanz eine Flüssigkeit ist, der Name „Körnchen" wird passender sein, wenn die innere zweite Substanz einem festen Körper entspricht, wenn sie zb. aus Fistellen aufgebaut ist. Dabei können wir uns den Körncheninhalt zusammengesetzt denken aus cylindrischen Fistellen, welche sich zu einem Klümpchen in solcher Weise hintereinander und nebeneinander gelagert haben, dass dessen äussere Begrenzungsfläche eine Kugel, nämlich eben jene kugelförmige Membran ist, wobei alle Fistellenachsen im Inneren der Kugel einander parallel sind (Fig. 39 A, alle Fistellenachsen senkrecht zur Ebene der Zeichnung); oder wir können uns im Inneren der Oberflächenmembran lauter konzentrische Membranen denken, eine die andere unmittelbar einhüllend, von der äussersten bis zu der innersten (Fig. 39 B, alle Fistellenachsen radial). Doch müssen wir uns im letzteren Falle eines früheren Ergebnisses erinnern: Zu bestimmten kegelförmigen Fistellen gehört ein ganz bestimmter Krümmungsradius der Membran (S. 64). Soll also das erwähnte Körnchen nur aus kegelförmigen Fistellen aufgebaut sein, so müssen entweder die Fistellen selber für jede neue Schicht, für jede neue Membran von wesentlich anderem Radius verschiedene, also wohl auch die jene Fistellen zusammensetzenden Molekeln verschiedene sein, oder es müssen jene Fistellen sehr stark deformierbare Gebilde sein, welche äusseren deformierenden

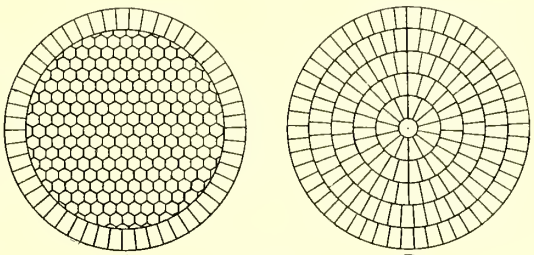


Fig. 39.

Kräften leicht nachgeben. Wahrscheinlich ist es jedenfalls, dass kugelförmige Membranen von stark verschiedenen Radien stets aus Fistellen bestehen, welche in ihrer Konstitution etwas verschieden sind, so dass sich ein solches Körnchen in der Regel aus ungleichartigen Schichten aufbauen muss.

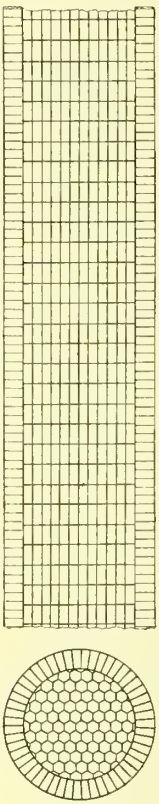


Fig. 40.

Aehnlich verhält es sich mit einer cylindrischen Membran, welche vermöge ihrer Durchlässigkeit mit einer zweiten von ihr erzeugten anderen Substanz sich angefüllt hat. Ist diese zweite Substanz eine Flüssigkeit, so bezeichnen wir die Verbindung beider Substanzen als ein „Röhrchen", welches in seinem Hohlraume die zweite Substanz, die Flüssigkeit, enthält, oder dieselbe durch ihn hindurchfliessen lässt, wobei seine Membran für gewisse andere Flüssigkeiten durchlässig bleibt. Ist die innerhalb der cylindrischen Membran befindliche Substanz fest, zb. etwa aus Fistellen aufgebaut, so wollen wir das Gebilde eine „Fibrille" nennen. Dabei haben wir wiederum zwei Fälle zu unterscheiden: entweder die inneren Fistellen sind cylindrisch und legen sich zb. mit ihren Achsen in die Achsenrichtung der Fibrille (Fig. 40, im Längsschnitt und Querschnitt), oder die Fistellen sind ähnlich gebaut und angelagert wie diejenigen der Fibrillenmembran, so dass konzentrisch mit dieser letzteren Schichte in Schichte sich legt, von der äussersten bis zur innersten (Fig. 39 B). Auch in diesem zweiten Falle werden wegen der zugehörigen Membrankrümmungsradien, analog wie bei den „Körnchen", die Fistellen der inneren Membranen in der Regel eine etwas andere Konstitution aufweisen müssen als diejenigen der äusseren. — Dass übrigens die Membranen solcher Fistellengebilde und die von ihnen eingeschlossenen Substanzen nicht zeitlich ganz getrennt voneinander, sondern mehr oder weniger gleichzeitig entstehen, braucht hier nur erwähnt zu werden.

Grössenverhältnisse.

Sind uns nun solche Bläschen, Körnchen, Röhrchen, Fibrillen, die unzähligen Fistellengebilde komplizierterer Formen, welche es sonst noch geben mag, sichtbar? Vermögen wir vielleicht sogar die Fistellen selber, wenn sie etwa aus Tausenden von Atomen zusammengesetzt sind, mit unseren besten Mikroskopen zu sehen? Bei den ersteren Fistellengebilden ist dies allerdings unter Umständen der Fall, bei den letzteren aber, bei den Fistellen selber, niemals. Einige Zahlenangaben mögen diese Verhältnisse klar legen.

Auf ganz verschiedenen Wegen, mit verschiedenen physikalischen Experimenten hat man versucht, die Durchmesser der Molekeln, der Atome zu bestimmen. Nach solchen Versuchen dürfen wir annehmen, es sei der mittlere Wert eines Atomdurchmessers in runder Zahl etwa der zehnmillionste Teil eines Millimeters[1]). In einem Raume, einem Würfel von 10fachen Lineardimensionen haben 10^3, also 1000 solche Atome Platz. Eine Molekel aus 1000 Atomen bestehend wird daher, wenn diese Atome zu einer Kugel zusammengeballt sind, im Durchmesser nur etwa den millionsten Teil eines Millimeters messen, einen sehr kleinen Bruchteil der Wellenlängen des sichtbaren Lichtes; sie wird nicht im Verhältnis zu einer einatomigen Molekel ungeheuer gross sein, wie da und dort geglaubt worden ist. Deshalb wird es uns niemals, mit keinen Mitteln gelingen, eine solche Molekel, trotz ihrer relativen Grösse, direkt sichtbar zu machen. Eine stäbchenförmige Molekel von 100 Atomen möge ihrer Länge nach 10, ihrem Querschnitt nach 10 (3mal 3 plus 1) Atome nebeneinander aufweisen. Ihre grösste Dimension misst dann wiederum nur den millionsten Teil eines Millimeters, die Molekel wird uns stets unsichtbar bleiben. Setzen sich 10 solche stäbchenförmige Molekeln ringförmig zu einem Hohlcylinder, zu einer Fistelle aus 1000 Atomen bestehend zusammen, so wird auch der Durchmesser dieser Fistelle nicht merklich grösser als ihre Länge, und die Fistelle bleibt uns jederzeit absolut unsichtbar. Besteht eine Membran nur aus einer einzigen

[1]) Landolt und Börnstein, Physikal.-chem. Tabellen, 2. Aufl. S. 310. Berlin 1894.

Schicht nebeneinander gelagerter Fistellen, so werden wir die Membrandicke niemals unmittelbar sehen können.

Wenn aber bei der Membranbildung auch Fistelle hinter Fistelle sich lagert, wenn die Membran dicker wird, 500 mal dicker als jene einfache nur aus einer einzigen Schicht nebeneinander gelagerter Fistellen bestehende Membran, so gelangt sie in den Bereich direkter Sichtbarkeit vermittelst des besten Mikroskopes (den 2000. Teil eines Millimeters als eben noch mit dem Auge erkennbar angenommen). Zusammengesetzte Gebilde, wie Bläschen, Körnchen, Röhrchen, Fibrillen, deren Hüllen einfache einschichtige Fistellenmembranen sind, werden uns erst dann sichtbar, wenn ihre Durchmesser 500 mal grösser sind als die Dicke ihrer Membranen. Wir erkennen hieraus, dass auch die allerkleinsten uns eben noch sichtbaren Gebilde in ihrer molekularen Zusammensetzung aus Atomen ganz ungemein kompliziert sein können. Sie erscheinen uns schon höchst kompliziert, wenn wir uns auch ihre Molekeln nur als regellose Zusammenhäufungen von Atomen denken. Sie sind aber weit komplizierter, weil die Atomzusammenlagerungen zu Molekeln ganz bestimmte, genau geregelte sind und zwar so verwickelte, dass nur in den einfachsten Fällen die Chemie bestimmte Vorstellungen über diesen Zusammenhang der Atome in den Molekeln sich hat bilden können. Daher übersteigen auch die Bewegungsvorgänge in den fortwährend zusammenstossenden Atomen, Molekeln, Fistellen an Kompliziertheit unsere grösste Vorstellungskraft.

Stoffwechsel und Wachstum bei Fistellengebilden.

In einer passenden Nahrungsflüssigkeit werden alle von uns bis dahin betrachteten Gebilde in bestimmter Weise wachsen. Sie können an ihren Begrenzungsflächen, seien es äussere oder innere, assimilieren; sie können also durch Anlagerung neuer Molekeln bz. Fistellen an ihren Oberflächen unter Umständen immer mehr sich vergrössern. Dagegen können Gebilde von einer bestimmten Grösse an aus physikalischen Gründen[1]) nicht mehr in gleicher Weise wie Molekeln und Fistellen durch Assi-

[1]) Wegen zahlreicher Interferenzen der in Betracht kommenden Lichtwellenbewegungen und daheriger Beeinträchtigung der Resonanzwirkung.

milation direkt sich verdoppeln, sondern der Vorgang ihrer Vermehrung ist ein mehr indirekter, wie wir sogleich sehen werden. Um dies zu erkennen, verfolgen wir die Vorgänge beim Wachstum solcher Gebilde eingehender.

Wir erinnern uns, dass Bläschen, Körnchen, Röhrchen, Fibrillen nach unseren Entwicklungen stets eine durchlässige Membran als äussere Umhüllung besitzen. Durch diese Membran strömt Substanz, es strömen Molekeln von solcher oder doch Atomgruppen und Atome in das Innere ein. Sie erzeugen hier neue Substanz, bewirken Atomumlagerungen in den innerhalb der Membran befindlichen Substanzen, deren ja, wie wir früher (S. 78) erkannten, mehrere verschiedene nebeneinander bestehen können. Vielleicht werden im Inneren jener Membran nicht alle einströmenden Atome und Atomverbindungen verbraucht. Die unverbrauchten und die für das Fistellengebilde unbrauchbaren Stoffe, welche sich innerhalb der Membran nirgends anlagern können, werden da oder dort, etwa durch an anderer Stelle der Membran vorhandene etwas anders zusammengesetzte Fistellen wieder ausgeschieden, nach aussen abgegeben. Denn jede anders aus Atomen zusammengesetzte Fistelle ist im allgemeinen für entsprechend andere Substanzen durchlässig, wie aus früheren Entwicklungen (S. 54, 78) hervorgeht. Es findet demnach während des Wachstums eines Fistellengebildes nicht nur da und dort ein Einströmen von Substanzen in das Innere der geschlossenen durchlässigen Membran, sondern an anderen Stellen auch ein Ausströmen anderer Substanzen durch die Membran statt. Folglich kommt, wie eigentlich schon an jeder assimilierenden Molekel, so namentlich durch eine solche Membran hindurch ein vollständiger Stoffwechsel zu stande, ein Austausch von Molekeln, wobei innerhalb der Membran, im Inneren des Fistellengebildes, gewisse Atomverbindungen in ganz andere Atomverbindungen umgewandelt werden.

Der Stoffwechsel kann ein verhältnismässig einfacher, er kann aber auch ein sehr komplizierter Vorgang sein. Denken wir uns, durch die Membran M (Fig. 41) des betrachteten Gebildes sei beispielsweise ein Sauerstoffatom hindurchgelangt und eine im Inneren der Membran befindliche Substanz habe das besondere Bestreben, noch ein Sauerstoffatom ihren Molekeln anzulagern. Kommt nun jenes Sauerstoffatom bei einer Molekel a

dieser innen befindlichen Substanz an, so wird es gefasst und in die Molekel aufgenommen, ihr einverleibt. Vielleicht muss dafür von dieser Molekel ein anderes nun überflüssig gewordenes Atom anderer Art abgegeben werden. Damit ist dann der Stoffwechsel fürs erste beendigt.

Nun haben aber die gleichartigen Molekeln der innen befindlichen Substanz, welche der soeben umgebildeten Molekel a benachbart sind, gleichfalls das Bestreben, noch ein Sauerstoffatom sich anzulagern. Sie kämpfen mit ihr um dieses Sauerstoffatom. Wegen der fort und fort wiederholten Zusammenstösse aller Molekeln miteinander befinden sich alle ihre Atome fortwährend in entsprechend starken Schwingungszuständen, und kommt nun einmal jenes Sauerstoffatom der umgebildeten Molekel a einer benachbarten anderen Molekel, etwa b, zu nahe, so wird es von dieser gefasst, in sich aufgenommen, gefesselt; dafür wird eventuell ein nun in b überflüssig gewordenes Atom anderer Art an a zurückgegeben. So wandert das Sauerstoffatom, nur zum Teil abhängig von der Wanderung der Molekeln selber, in der Substanz hin und her, bald dahin, bald dorthin, zb. von a über b. c. d. e, f, g nach h usf., je nachdem im Kampf der Molekeln untereinander bald die eine, bald die andere Molekel siegreich bleibt.

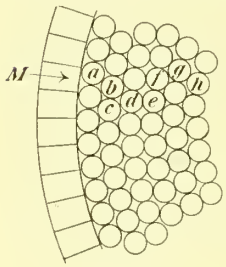


Fig. 41.

Erleichtert wird jener Molekel a die Abgabe ihres soeben neu aufgenommenen Sauerstoffatoms an eine benachbarte Molekel b, wenn in ihrer Nachbarschaft immer wieder neue Sauerstoffatome, durch die Membran des Gebildes hindurchbefördert, ankommen, so dass ihrem Bestreben nach der Aufnahme eines Sauerstoffatoms fort und fort genügt wird. Erleichtert wird andererseits dieser Umsatz, dieser Stoffwechsel zwischen benachbarten Molekeln, wenn die bt. Substanz eine Flüssigkeit ist, wenn ihre Molekeln keine bestimmte Orientierung beibehalten, sich vielmehr immerfort drehen, so dass das besonders gesuchte Sauerstoffatom bald gegen diese, bald gegen jene benachbarte Molekel stossen muss. Endlich wird der Austausch von Atomen, wird der Stoffwechsel durch die ganze Flüssigkeit hindurch erleichtert, weil in Flüssigkeiten gewöhnlich Strömungen, Kon-

vektionsströme zu stande kommen, durch welche die bereits veränderten Molekeln naeh allen mögliehen Orten hingeleitet werden. Langsamer geht der Stoffweehsel derjenigen Substanzen vor sieh, welehe aus Fistellen aufgebaut sind, um so langsamer, je stabiler die Fistellen sind, je fester ihre Molekeln untereinander verbunden sind; langsamer ist noch der Stoffweehsel in festen Körpern, deren Molekeln ohne Fistellenbau einfaeh unmittelbar aneinandergelagert sind.

Ovoide.

Gehen wir nun auf das Wachstum eines komplizierteren, nämlieh des ovalen Gebildes noch näher ein, dessen Membran schon früher (S. 71) dargestellt war (Fig. 42). Fast gleiehzeitig mit der Membran wird sieh die dureh die Membran einzusehliessende Substanz in passender Weise bilden, wie wir sehon früher bemerkt haben. Je weiter aber die Fistellen der Membran bei ihrer Bildung gegen die Pole a und b hin angelagert werden, um so weniger passen sie aneinander, um so mehr wird also das Bestreben zur Geltung kommen, die Fistellen umzubilden (S. 72) oder sogar Substanzen ganz anderer Art zu erzeugen. Die Pole a und b, an welchen überdies dreierlei verschiedene Substanzen, nämlieh die innere Substanz, die Membransubstanz und die äussere Nahrungsflüssigkeit, miteinander zur Berührung kommen, sind es daher ganz besonders, welehe als Entstehungszentren neuer Molekeln aufzufassen sind. Wenn nun aus letzteren passende Fistellen hervorgehen, welehe rein kegelförmig sind und somit kugelförmige Membranen bilden, so rundet sieh das Ovoid am bt. Pole kugelförmig ab. Es wird an dieser Stelle ein stabiler Absehluss gebildet. Wenn aber statt dessen Fistellen entstehen, welehe eylindrisehe Membranen, also Röhr-

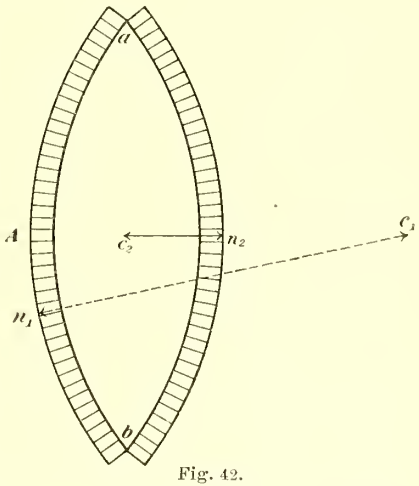


Fig. 42.

chen aufbauen, so wächst am bt. Pole ein Röhrchen, eine Fibrille aus (Fig. 43 A).

Diese Fibrille kann so in die Länge wachsen, dass sich ganz gleichmässig rings um ihre geometrische Achse herum Fistellen nebeneinander legen. Die Grenze der Fibrille, an welcher sich immer neue Fistellen anlagern, ist dann kreisrund und liegt in einer Ebene senkrecht zur Fibrillenachse (Fig. 43 B). Ist aber das Wachstum rings um die Achse herum ein ungleiches, lagern sich zb. Fistellen an in Ebenen, welche nicht senkrecht zur Fibrillenachse stehen, sondern schief zu ihr (Fig. 43 C), dann werden die in einem senkrechten Querschnitt q q der Cylinderfläche, der Fibrillenmembran ringsum verteilten Fistellen in der Regel ungleich sein an verschiedenen Stellen des Umfangs. Denn die Bedingungen, unter welchen die letzten irgend einen Querschnitt der Fibrillenmembran abschliessenden Fistellen m und n (Fig. 44) entstehen, sind nun andere als diejenigen für die ersten Fistellen a und b desselben Querschnitts; die Fistellen müssen sich in beiden Fällen anderen Bedingungen anpassen.

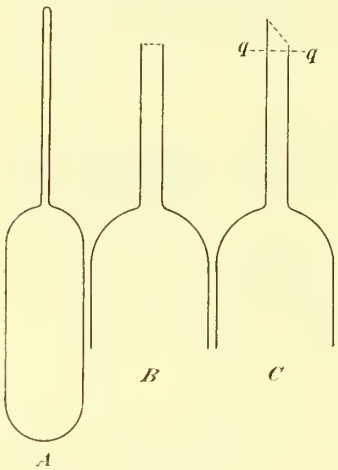


Fig. 43.

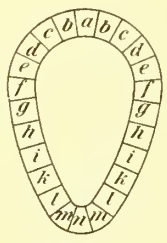


Fig. 44.

Es wird infolgedessen sogar der Querschnitt der Fibrille möglicherweise nicht mehr kreisförmig bleiben, sondern elliptisch werden oder oval (Fig. 44). Diese Fibrille wächst nicht nur der Länge nach weiter aus, sondern gewissermassen auch dem Cylinderumfang nach, weil ein schiefer Cylinderschnitt die Grenze darstellt, an welcher sich die neuen Fistellen ansetzen. Die Fibrille zeigt ihrer ganzen Länge nach eine seitliche Ungleichheit, ein Rechts und Links, oder ein Vorn und Hinten.

Eine solche vollkommen cylindrische Fibrille würde übrigens zu unendlicher Länge auswachsen, wenn Platz und passende Nahrung dazu da wäre, und wenn es sich nur um die Substanz

der Membran selber handelte, welche unmittelbar aus der Nahrungsflüssigkeit entstünde, sowie um die innerhalb der Membran befindliche Substanz, welche durch die Fistellen der Membran hindurch in ihr Inneres hineingelangte. Ist hingegen die Fibrille nur ein Auswuchs eines anderen, zb. jenes als Ausgangspunkt dieser Betrachtung gewählten ovalen Gebildes (Fig. 42), so kann besonders die im Inneren der Fibrille befindliche Substanz in ihrem Bestand und in ihrem Wachstum mit der Innensubstanz des Ovoids selber in bestimmtem Gegenseitigkeitsverhältnisse, in Korrelation stehen, und dann ist das Längenwachstum der Fibrille ein begrenztes (Fig. 43 A).

Bewegungsvorgänge; Wimpern, Geisseln, Pseudopodien.

Je fester die Molekeln einer Fistelle miteinander zusammenhängen, um so steifere, starrere Gebilde sind die Fistellen, um so starrer auch die Fibrillen, welche aus solchen Fistellen sich aufbauen. Ganz besonders starr sind diejenigen Fibrillen, deren gesamtes Innere noch aus derartigen starren Fistellen besteht. Umgekehrt können Fibrillen weich, geschmeidig sein, sich leicht biegen, sich krümmen, wenn die Fistellen ihrer Membranen wenig starr sind, wenn auch das Innere der Fibrillen weich, unter Umständen sogar flüssig ist.

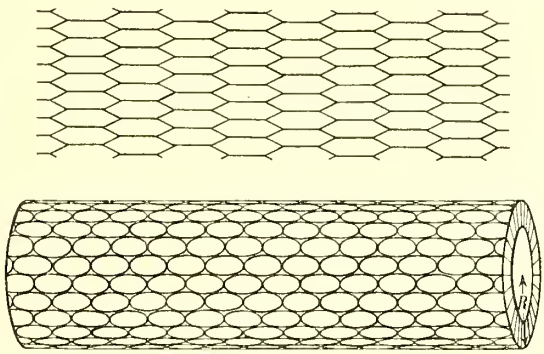


Fig. 45.

Besteht die Fibrille aus kontraktiler Substanz, ist namentlich ihre Membran kontraktil (S. 62, 70; Fig. 45), so treten Bewegungserscheinungen auf. Die Fibrillenmembran ist durchlässig. Substanzen treten durch sie hindurch und geben zu Stoffwechsel Veranlassung. Erhalten dabei die Flüssigkeitsmolekeln, welche die Hohlräume der Fistellen passend ausfüllen, entsprechend grössere Querschnitte, so weiten sich die

Fistellen aus. Hatten diese zuvor einen elliptischen Querschnitt, so suchen sie jetzt einen kreisförmigen Querschnitt anzunehmen. Waren ihre Querschnitte vorher länglich sechseckig, so suchen sie nun regelmässig sechseckig zu werden. Nach einer Richtung der Membran entsteht somit Kontraktion, nach einer dazu senkrechten Richtung Expansion.

Wenn etwa die elliptischen Querschnitte der Fistellen in einer kreisrunden Fibrille so geordnet sind, dass die grossen Achsen der Ellipsen in der Richtung des Kreisumfangs des Cylinders liegen, so dehnt sich die Fibrille ihrer Länge nach aus bei Vergrösserung der in ihren Fistellen befindlichen Flüssigkeitsmolekeln; umgekehrt verkürzt sie sich bei dieser Molekelvergrösserung, wenn die Ellipsen ihre grossen Achsen parallel der Fibrillenachse gestellt haben (Fig. 45). Wird der Nahrungszufluss, welcher solchen Stoffwechsel und also eine Vergrösserung der Flüssigkeitsmolekeln bewirkt, von der Aussenseite der Fibrille her einseitig eingeleitet, so erfolgt die Expansion bz. Kontraktion auf derjenigen Seite der Fibrille zuerst, an welcher Nahrung zuerst eintritt. Die Fibrille krümmt sich konvex oder konkav nach der Richtung, in welcher die Zufuhr der Nahrung N stattfindet (Fig. 46). Die Krümmung verschwindet aber wieder, sobald die aufgenommene neue Substanz, die Nahrung, allen Fistellen und allen Molekeln der in Betracht kommenden Substanzen in gleicher Weise übermittelt worden ist. In jedem Falle kommt bei dieser Nahrungsaufnahme von einer Seite her durch Querschnittsänderung der Flüssigkeitsmolekeln, welche in den Fistellenhohlräumen lagern, eine Bewegung der Fibrille gegen die Nahrungsquelle hin zu stande (A) oder von ihr weg (B), je nach dem inneren Aufbau ihrer kontraktilen Substanz aus Fistellen. Bei der Verbindung der Fibrille mit einem anderen grösseren Gebilde (Fig. 43) wird dieses selber durch die Fibrillenkrümmungen zu der Nahrungsquelle hin oder von ihr weg bewegt. Dasjenige Gebilde, welches sich durch solche Krümmungen vermöge des Nahrungszutritts aus dem Bereich seiner Nahrung bewegen würde, unterläge selbstverständlich im Kampf ums Dasein gegen alle anderen Gebilde,

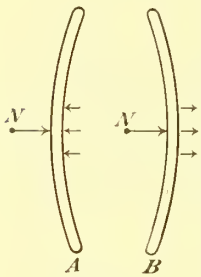


Fig. 46.

welche sich bei ihren Krümmungen zur Nahrungsquelle hin bewegen. Diese letzteren Gebilde sind allein existenzfähig und wachsen weiter; jenes erstere bildete sich in der Regel nicht, weil es in seinem Bestreben, die Nahrung zu fliehen, nur unter ganz besonders günstigen Umständen wachsen konnte.

Wir könnten eine der oben beschriebenen Fibrillen, eine cylindrische, mit einer anderen Substanz erfüllte, am einen Ende geschlossene Membran als Wimper, als Geissel oder als Pseudopodium bezeichnen, wenn sie am anderen Ende mit einem grösseren abgerundeten Gebilde zusammenhängt und zur Fortbewegung desselben vermöge ihrer Krümmungsbewegungen behilflich ist oder dieselbe allein besorgt. Unsere Fibrille ist aber in ihrem Aufbau immer noch ein sehr einfaches Gebilde, was von den meisten Wimpern, Geisseln, Pseudopodien nicht ohne weiteres behauptet werden kann. Besitzt das Ovoid (Fig. 42) nicht einen kreisrunden Querschnitt senkrecht zu seiner längsten Achse, sind vielmehr die Fistellen rings um diesen Querschnitt in der Weise ungleich, dass der letztere elliptisch wird (Fig. 47), so werden auch die Pole a und b (Fig. 42) nicht gleichmässig an allen Seiten von Fistellen begrenzt. Es können an diesen Polen zwei Fibrillen oder auch noch mehr derselben nebeneinander entstehen, wie aus Figur 47 hervorgeht. Wächst ein von kugelförmiger Membran eingehülltes Gebilde fort und fort, so verlieren die kegelförmigen Fistellen, wie wir S. 65 sahen, ihren festen Zusammenhang untereinander um so mehr, je grössere Radien die umhüllenden Membranen erhalten müssen. Entweder entstehen statt derselben andere Fistellen, welche sich den grösseren Krümmungsradien der einhüllenden Membranen anpassen, oder es können da und dort, mehr oder weniger regelmässig verteilt, Fistellen erzeugt werden, welche, wie an den Polen a und b des Ovoids (Fig. 42), cylindrische

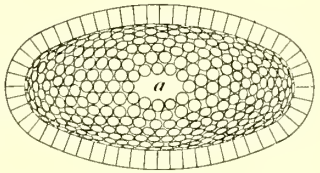


Fig. 47.

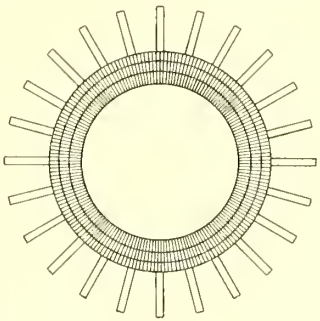


Fig. 48.

Fibrillen hervorrufen, so dass das ganze kugelige Gebilde ringsum von zahlreichen wimperartigen Fortsätzen eingehüllt wird (Fig. 48).

Entstehung der Gastrula im begrenzten Raume.

Es hätte keinen grossen Wert, auf theoretischem Wege hier alle diejenigen Körperformen ableiten zu wollen, welche aus einfachen oder komplizierten Molekeln und aus Fistellen aufgebaut sind. Dieser Formen sind ja auch unendlich viele, je nach Art und Zahl der gegebenen inneren und äusseren Bedingungen. Aber auf einen äusseren Einfluss wollen wir in diesem Kapitel noch näher eintreten, auf den Einfluss des Nahrungsmangels. Ist der Raum, in welchem die Wachstumsvorgänge sich abspielen, ein bestimmt abgegrenzter, so enthält er eine begrenzte Nahrungsmenge. Wir nehmen an, diese Nahrungsmenge sei überdies nur spärlich vorhanden. Durch Verbrauch von Nahrung für den Stoffwechsel, für das Wachstum wird nun im betrachteten Raume der Nahrungsbestand fortwährend geändert. Wenn nicht die ganze, im allgemeinen aus heterogenen Stoffen bestehende Nahrungsflüssigkeit gleichmässig aufgenommen und verarbeitet wird, oder wenn infolge des Stoffwechsels umgewandelte Stoffe in die Nahrungsflüssigkeit abgeschieden werden, so verändert sich beständig die Zusammensetzung jener Nahrung. Zuletzt ist sie so verändert, dass die früher aus ihr entstandene Molekelart nun gar nicht mehr gebildet werden kann.

Wir wollen auf ein spezielles Beispiel näher eintreten: Ein kugelförmiger mit Nahrungsflüssigkeit erfüllter Raum sei gegeben. In demselben entstehen durch Assimilation stäbchenartige Molekeln mit trapezförmigem Querschnitt, aus welchen sich Fistellen zusammensetzen, sei es dass eine oder mehrere gleichartige solche Molekeln, vielleicht eine entsprechende Fistelle mit der Nahrungsflüssigkeit zugleich in diesen Raum hineingebracht worden ist, sei es dass eine solche kompliziertere Molekel gerade in diesem Raume durch zufällige Zusammenlagerung von Atomen sich gebildet hat. Die aus dieser Nahrung hervorgehende Fistellenart sei cylindrisch oder es entspreche derselben, wenn sie kegelförmig ist, doch ein Krümmungsradius (S. 64) gleich oder grösser als der Radius des zur Verfügung stehenden kugelförmigen Raumes. Die Fistellen seien überdies

deformierbar und sie mögen sich leichter zu Membranen als zu Fäden aneinanderlagern. Bildet sich nun durch Assimilation Fistelle an Fistelle und legen sich diese zu einer Membran nebeneinander, so wird eine solche Membran, wenn sie weiter wachsen soll als bis zu der Grösse des Kugelquerschnitts, der gegebenen Kugelfläche sich anpassen. Wegen der Deformierbarkeit ihrer Fistellen wird sie sich krümmen und an die Begrenzungsfläche des kugelförmigen Raumes mehr und mehr sich anlegen (Fig. 49). Zuletzt könnte sich unter Umständen die Membran ganz schliessen und es würde ein Bläschen entstehen, welches die gegebene innere Kugeloberfläche völlig bedeckt, wenn reichliche Nahrung vorhanden wäre.

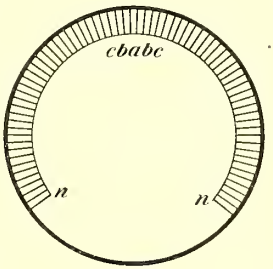


Fig. 49.

Nach unserer Voraussetzung ist aber die in unserem kugelförmigen Raume gegebene Nahrungsmenge begrenzt und spärlich vorhanden. Entstand zuerst die Fistelle a oder war dieselbe von Anfang an in diesem Raume vorhanden, so erzeugt sie jetzt in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft durch Assimilation Fistellen b, welche ihr genau gleich, welche aber auch um einen für unsere Beobachtungsmethoden vielleicht unmessbar geringen Betrag von ihr verschieden sein können. Durch den Stoffverbrauch für diese Fistellen wird nun im vorliegenden Falle nach unserer Annahme nicht die gegebene Nahrungsflüssigkeit ganz genau in ihrer vorhandenen Zusammensetzung aufgebraucht. Unter solchen Umständen ist die Zusammensetzung, die Konzentration der übrig gebliebenen Nahrungsflüssigkeit durch jene Fistellenbildung geändert worden. Die Fistellen b erzeugen neue Nachbarfistellen c, welche wiederum etwas abgeändert sind wegen der veränderten Nahrungsflüssigkeit, aus welcher sie hervorgehen usf. Jede neuzubildende Fistelle muss eben den abgeänderten Bedingungen, sie muss den Verhältnissen angepasst werden.

Die letzten in der Figur 49 noch eingezeichneten Fistellen, welche sich soeben gebildet haben, seien die Fistellen n. Dieselben sind in ihrer Konstitution so sehr der sie umgebenden nunmehr wesentlich veränderten Nahrung angepasst, dass sie allein von allen bereits bestehenden Fistellen a bis n aus der

gegebenen Nahrung annähernd gleiche Fistellen zu assimilieren im stande sind. Denn die jetzt stark von ihnen verschiedenen Fistellen a, b usf. vermögen unter den veränderten Nahrungsbedingungen nur noch so langsam zu assimilieren, dass ihre Wirkung neben derjenigen der Fistellen n nicht mehr in Betracht kommt. Demnach schreitet ein merkliches Wachstum der Membran nur in der unmittelbaren Nachbarschaft der Fistellen n fort, unter unaufhörlicher, aber langsamer Abänderung der Fistellenart, wegen der fortwährenden Konzentrationsänderung der Nahrungsflüssigkeit.

Die Membran möge sich durch Anlagerung neuer Fistellen beinahe zu einer vollständigen Kugelfläche geschlossen haben. Die Fistellen p p′ (Fig. 50) seien die letzten, welche soeben noch gebildet worden sind; sie suchen ihrerseits zu assimilieren, aus der sie umgebenden Nahrung neue ähnliche Fistellen zu erzeugen. Es ist klar, dass dabei diese Fistellen p und p′, je näher sie einander kommen, um so mehr um die in ihrer umgebenden Flüssigkeit vorhandene spärliche Nahrung miteinander kämpfen. Ihr Kampf kann ein so heftiger sein, besonders wenn die nötige Nahrung in der Nahrungsflüssigkeit sehr spärlich zu werden beginnt, dass jede von den Fistellen p und p′ nur noch mit grosser Mühe und in verhältnismässig langer Zeit eine ihr entsprechende benachbarte Fistelle, dass eine von ihnen vielleicht auch gar keine neue Fistelle mehr zu bilden im stande ist. Gerade an dieser Stelle der kugelförmigen Membran, welche zur Verschlussstelle derselben werden sollte, wird die Nahrung bei einem solchen Kampf unter den unmittelbar benachbarten Fistellen ganz oder fast ganz aufgebraucht, die Konzentration der Nahrungsflüssigkeit wird dort entsprechend herabgedrückt. Sie reicht unter den gegebenen Bedingungen nicht mehr aus, um die letzten zur Kugelfläche nötigen Fistellen, um ihre Verschlussfistellen anzusetzen. Denn durch blosse Konvektionsströme wird nur noch verschwindend wenig Nahrung herbeigeführt, wenn einmal der Raum zwischen den Fistellen p p′ sehr eng geworden ist.

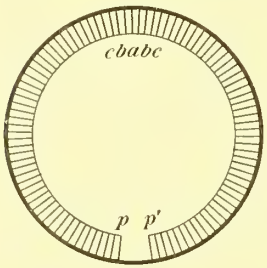


Fig. 50.

Im Inneren der nahezu geschlossenen Kugelmembran ist

dagegen die Nahrung in der Flüssigkeit noch nicht aufgebraucht, sondern in derjenigen Konzentration vorhanden, welche den zuletzt gebildeten Fistellen p p′ entspricht. Folglich sind jetzt die Bedingungen derart, dass — wegen reichlicherer Nahrung im Inneren der fast geschlossenen Kugelmembran als an ihrer Verschlussstelle — die assimilierenden Membranfistellen p p′ leichter nach der Membrandicke hin neue Fistellen q q′ (Fig. 51) ansetzen, als dass die einfache Membran selber zu einer vollständigen Kugelfläche sich schliesst. Die Fistellen q q′ erzeugen nun wiederum durch Assimilation neue Nachbarfistellen r r′, welche sich seitlich an jene anlagern, wegen der von uns oben vorausgesetzten leichteren Membran- als Fadenbildung dieser Fistellenart. Sie setzen sich relativ zu dem kleinen übrig gebliebenen Porus P nach aussen an. Denn im Porus selber ist der Kampf der Fistellen q q′ untereinander um ihre Nahrung wie derjenige der Fistellen p p′ ein zu grosser für das Gelingen der Assimilation, die Konzentration der Nahrungsflüssigkeit bleibt dort eine zu geringe; die Fistellen q q′ können also leichter nach der äusseren Seite neue Fistellen r r′ assimilieren als gegen den Porus hin.

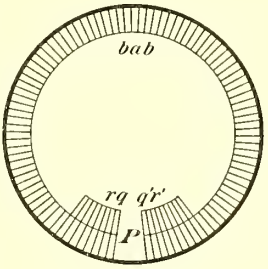


Fig. 51.

Nun entsteht wiederum Fistelle neben Fistelle, es bildet sich eine zweite kugelförmige Membran. Dabei geht der Ursprung dieser zweiten Membran wirklich nicht von den ersten Fistellen a und b aus, sondern von den Fistellen p p′, weil bei unseren gegebenen Verhältnissen die Konzentration der Nahrungsflüssigkeit sich so sehr geändert hat, dass die letzteren der jetzigen Nahrungsflüssigkeit angepassten Fistellen p p′ leichter zu assimilieren vermögen als die ersteren Fistellen a und b, wie oben schon hervorgehoben wurde. Schliesst sich die zweite Membran vollständig in der Nähe der ursprünglichen Fistelle a mittels der von dieser entsprechend verschiedenen Fistellen z z′ [1]), so erhalten wir ein Fistellengebilde, welches wir als Gastrula

[1]) Würde die Entstehung abgeänderter Fistellenarten mit dem Nahrungsverbrauch immer genau Schritt halten, so entstände bei z z′ wiederum ein Porus, dann eine dritte Sehieht, und es würde sieh Schicht in Sehichte legen, bis der ganze Raum von denselben erfüllt wäre.

bezeichnen wollen (Fig. 52), weil es als Grundform der Gastraeagebilde aufgefasst werden kann. In seiner fertigen Form ist dasselbe hie und da solchen Gastrulen ganz ähnlich, welche in der Lehre von der Keimesentwicklung (Ontogenie) und der Stammesentwicklung (Phylogenie) namentlich durch E. Haeckels Arbeiten eine so grosse Wichtigkeit erlangt haben. Die Entstehung unserer Gastrula erklärt sich in einfacher Weise mechanisch durch das Wachstum entsprechender Fistellenmembranen in begrenztem Raume bei nicht zu reichlicher Nahrung, so dass die Fistellenart den äusseren Bedingungen sich anpassen, fortwährend sich etwas verändern muss. Die Gastrula in der Keimesentwicklung hat dagegen kompliziertere Entstehungsursachen. Bei ihr kommt in der Regel die Bildung einer Doppelmembran durch Einstülpung einer einfachen Membran zu stande.

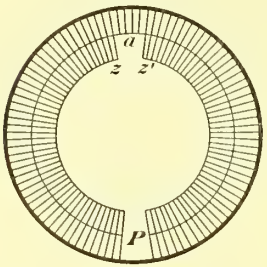


Fig. 52.

Ist der gegebene Raum, welcher die Nahrungsflüssigkeit einhüllt, nicht eine Kugel, sondern ein beliebiges Ellipsoid, ein Ovoid oder von irgend einer noch komplizierteren Fläche eingehüllt, so entsteht eine entsprechend verschiedene kompliziertere Gastrulaform, in welcher auch bei sonst ganz gleichmässigem Wachstum von der ersten Fistelle a aus doch nach verschiedenen Richtungen immer mehr Ungleichheiten sich zeigen. Daher treten zuletzt am Porus P nebeneinander ganz verschiedenartige Fistellen p p′ auf. Die Gastrula wird nicht einachsig, sondern zwei- oder dreiachsig. Sie erhält naturgemäss in der Regel eine Symmetrieebene, welche ein Rechts und Links, ein Oben und Unten, ein Vorn und Hinten unterscheiden lässt. — Wenn aus irgend einem Grunde die Konzentration der Nahrungsflüssigkeit im gegebenen Raume eine ungleiche ist, sei es dass etwa durch den Einfluss der Schwere die Nahrung oben und unten anders sich anordnete, sei es dass vermöge der Konsistenz der Nahrung eine solche Verschiedenheit sich ausbildete, so wird selbstverständlich eine entsprechend verschiedene Membranform, es wird eine ganz anders gestaltete Gastrula zu stande kommen.

Entstehung der Gastrula im unbegrenzten Raume.

Die Gastrula kann aber auch entstehen ohne jene äussere die gegebene Nahrungsmenge in eine bestimmte Form zwängende Hülle. Bildet sich nämlich aus kegelförmigen Fistellen eine kugelförmige Membran von dem bestimmten zugehörigen Radius R (S. 64), so hat auch sie eine Stelle, an welcher die Fistellen p p′ (Fig. 50) zuletzt neue Fistellen zu assimilieren suchen, um den Verschluss der Membran zu vermitteln. Hier wie dort kämpfen aber die sehr nahe benachbarten Fistellen p p′ den Kampf um ihre Nahrung, und ist die letztere spärlich vorhanden, so entstehen leichter neue Fistellen da, wo die Nahrungsflüssigkeit die grössere Konzentration behalten hat. Sie entstehen leichter ausserhalb oder innerhalb der Membran, vor oder hinter den Fistellen p p′, als neben ihnen. Daher setzt sich eine äussere oder eine innere konzentrische Membran an (Fig. 51, q q′, r r′). Sie bildet sich fertig aus, bevor noch jener übrig gebliebene Porus P geschlossen worden ist. Wir erhalten eine Gastrula.

Bewegungen der Gastrula.

Sind alle oder doch viele Fistellen der Gastrulamembran in Berührung mit den Molekeln der Nahrungsflüssigkeit merklich kontraktil, weiten sich diese Fistellen nämlich aus, wenn Nahrungsmolekeln in ihre Hohlräume gelangen, so wird eine solche Gastrula in ihrer Gesamtheit sich ausdehnen in der Nahrungsflüssigkeit; sie wird umgekehrt sich zusammenziehen, wenn keine Nahrung da ist. Sie wird dadurch in ihr Inneres Nahrung selbstthätig einsaugen, wenn solche in ihrer Umgebung vorhanden ist, sie wird nicht nahrhafte Flüssigkeit wieder ausstossen. Durch solche Kontraktionen und Expansionen kann die Gastrula Ortsveränderungen vornehmen, wenn die ersteren und die letzteren Bewegungen mit ungleichen Geschwindigkeiten ausgeführt werden.

Flächenvergrösserung der geschlossenen Membran.

Wie verhält sich nun bezüglich ihres weiteren Wachstums eine in sich geschlossene Membran, also die Membran eines Bläschens, Körnchens, Röhrchens, einer Fibrille, einer Gastrula?

Ist sie in Beziehung auf ihre Oberflächengestalt ein unveränderliches Ganzes, welches nicht mehr weiter zu wachsen vermag, oder ist sie der Flächenvergrösserung fähig, auch ohne die Ueberlagerung neuer Membranen über ihre Oberfläche? Zur Lösung dieser Frage müssen wir auf die Assimilation von Fistellen nochmals zurückkommen. Bei der Entstehung neuer Fistellen haben wir nämlich bis dahin stets nur den Raum ausserhalb der assimilierenden Fistelle in Berücksichtigung gezogen, nicht den Hohlraum in der Fistelle selber. Nun treten aber, weil die Membran durchlässig ist, beständig Molekeln, Atomgruppen, Atome durch das Innere der Fistelle hindurch. Die ganze Umgebung der Fistelle, also auch der Fistellenhohlraum in einer bereits fertig ausgebildeten Membran, ist der Schauplatz fortgesetzter energischer chemischer Prozesse, fortgesetzter Atomumlagerungen, fortwährender Neubildung von Molekeln. Genau so, wie wir dies früher (S. 68) für den Aussenraum der Fistelle nachgewiesen haben, lagert sich im Hohlraum der Fistelle an diejenige Molekel a (Fig. 53), welche gerade am wirksamsten von allen Fistellenmolekeln ihr Eigenlicht ausstrahlt, Atom an Atom, bis eine gleichartige Molekel gebildet ist. Es entsteht eine einzelne Molekel a′ gleich denjenigen, aus welchen die Fistelle aufgebaut ist, und zwar im Hohlraum der Fistelle. Diese Molekel verengt den Querschnitt des Fistellenhohlraums, die Durchlässigkeit der Fistelle wird vorläufig vermindert. Nun ist aber die Fistelle kein starres System, bestehend aus unbeweglichen Molekeln; vielmehr bewegen sich alle ihre Molekeln, sie stossen fortwährend zusammen, versetzen sich dadurch immer wieder in Schwingungen, in Zuckungen, durch deren Intensität ja ihre Temperatur sich zu erkennen giebt. Vermöge dieser immerwährenden Zuckungen in den Fistellenbestandteilen wird entweder die soeben neu gebildete Molekel aus dem Fistellenhohlraum herausgeworfen; sie legt sich dann ausserhalb der Membran oder innerhalb derselben an und beginnt dort eine neue Fistelle zu bilden, aus welcher allmählich eine neue die ursprüngliche berührende Membran hervorgeht (vgl. das Dickenwachstum der Membranen S. 57). Oder jener neu gebildeten Molekel gelingt es, zwischen zwei Molekeln der Fistelle, welche momentan etwas stark auseinandergeschwungen haben, sich hineinzudrängen, so dass die Fistelle,

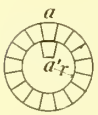


Fig. 53.

statt normalerweise aus n, nunmehr aus n + 1 Molekeln besteht. Der Fistellenhohlraum ist hiernach stärker erweitert als zuvor. Es bildet sich in ihm durch Assimilation wieder eine neue Molekel, und diese vermag sich noch leichter zwischen zwei von den n + 1 Molekeln der Fistelle hineinzudrängen als vorher die Molekel a', weil diese Fistelle jetzt schon eine Molekel mehr enthält, als ihrem normalen Krümmungsradius r (Fig. 53) entspricht. Denn dadurch ist der Zusammenhalt der einzelnen Molekeln untereinander in der Fistelle bereits etwas gelockert worden, die trapezförmigen Querschnitte der Fistellenmolekeln passen nicht mehr genau aufeinander. Die Fistelle wird also durch solche Einreihung neuer Molekeln immer weiter in ihrem Hohlraum. Sie erhält n + 2, n + 3 Molekeln usf. Ist sie um einen gewissen Betrag gewachsen, so dass sie beinahe 2 n Molekeln enthält, so nimmt sie eine ovale Gestalt an. Sie schnürt sich ein und zuletzt entstehen zwei Fistellen aus der einen erweiterten Fistelle. Denn der zu grosse Kreisquerschnitt der vergrösserten Fistelle ist ein erzwungener. Der Anlagerung der Fistellenmolekeln aneinander entspricht jener kleinere Krümmungsradius r und nur eine mit diesem Radius gebildete Fistelle ist ein stabiles Gebilde. Jede andere aus den gleichartigen Molekeln in grösserer Zahl hervorgehende Fistelle von grösserem Kreisquerschnitt ist um so unstabiler, je grösser ihr Radius ist. Es kommt somit in der That ein Wachstumsvorgang zu stande, wie ihn etwa die Figur 54 (A—F) in den Querschnitten der Fistellen darstellt. In dieser Figur ist der kleinste Krümmungsradius r, den die Molekeln in ihrer Aneinanderlagerung stets zu erreichen suchen, jeweilen eingezeichnet.

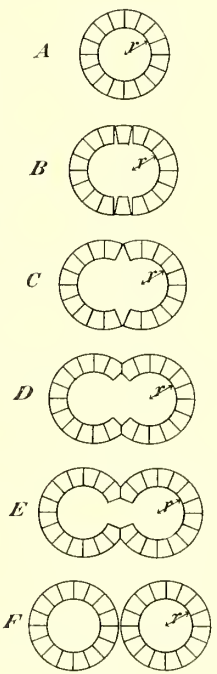


Fig. 54.

Apposition und Intussusception.

Haben wir früher gefunden, dass eine Membran wächst durch Bildung und Anlagerung neuer Fistellen innerhalb oder ausserhalb derselben, wenn sich diese Fistellen für die Folge zu

neuen Membranen entwickeln (Apposition), so sehen wir hier, dass die Fistellen der Membran sich auch durch Teilung in ihren Querschnitten vermehren können, dass neue Fistellen im Inneren der ursprünglichen einfachen Membran selber entstehen (Intussusception). Dadurch vergrössert sich diese Membran in ihrer Oberflächenausdehnung, sie ermöglicht der von ihr eingehüllten Substanz, an Volumen zuzunehmen. Den Verlauf dieses Membranwachstums verfolgen wir an einzelnen Fistellengebilden.

E. Fortpflanzung der Fistellengebilde.

Wachstum des Bläschens.

Ein kugelförmiges Bläschen, dessen Radius sich genau der Gestalt der dasselbe zusammensetzenden kegelförmigen Fistellen angepasst hat, wie wir früher gesehen haben (S. 64), enthält in seinem Inneren eine Flüssigkeit, welche unter Beihilfe der Membranfistellen gebildet worden ist. Die Membranfistellen lassen, wenn die passende Nahrung ausserhalb des Bläschens vorhanden ist, Substanzen bz. Atomgruppen, aus welchen sich jene Flüssigkeit bildet, fortwährend in das Bläschen eintreten. Das Austreten jener Flüssigkeit verhindern sie dagegen, wenn die Flüssigkeitsmolekeln einen gewissen Querschnitt, denjenigen des Fistellenhohlraumes, überschreiten. Denn zerlegt, aufgelöst in ihre Atome oder in Atomgruppen werden jene Flüssigkeitsmolekeln in der Regel nicht von den Membranfistellen, weil sie (S. 76) in einem bestimmten Gegenseitigkeitsverhältnisse zu den Fistellenmolekeln der Membran stehen, mit anderen Worten, weil wenigstens die Hauptschwingungszustände in diesen beiden ungleichen Molekelarten in Resonanz zu einander stehen.

Das Bläschen befinde sich in passender Nahrungsflüssigkeit. Abgesehen von dem Wachstum der Membran in die Dicke, durch Apposition, wird dieselbe auch bezüglich ihrer Flächengrösse zunehmen, durch Intussusception, wie wir soeben gesehen haben. Die in ihrem Inneren befindliche Flüssigkeit wird gleichfalls fortwährend neu gebildet, das ganze Bläschen wird also wachsen. Wir unterscheiden dabei zwei Fälle.

Fortpflanzung durch Zerplatzen.

Erstens wachse vermöge der herbeiströmenden Nahrung die im Bläschen befindliche Flüssigkeit verhältnismässig stärker als die Bläschenmembran. Die Membran bleibt vorerst angespannt, sie behält ihre Kugelform bei. Weil aber, nach unserer soeben gemachten Voraussetzung, für den von der Membran abgegrenzten Kugelinhalt zu viel neue Flüssigkeit in ihrem Inneren entsteht, muss entweder die überschüssige Flüssigkeit durch einzelne, etwa durch besonders erweiterte Fistellen (Fig. 54 B, C) abfliessen, wenn dies nicht durch die normalen Fistellen möglich ist, oder die Membran wird zersprengt. Der Ueberschuss der Flüssigkeit tritt dann aus, und die Membran schliesst sich wieder. Indessen wächst auch die Membran selber, das ganze Bläschen wird immer grösser. Je mehr aber der Kugelradius des Bläschens an Grösse zunimmt, um so weniger stimmt er mit dem zu den kegelförmigen Membranfistellen normalerweise gehörenden Kugelradius überein; die Membran wird unstabiler, weil ihre Fistellen immer weniger ihrer ganzen Länge nach dicht aneinanderliegen (vgl. Fig. 32, äusserste Membran, S. 65). Zuletzt wird das Gleichgewicht im Inneren der Membran selber ein so labiles, dass bei einem nächsten Zerreissen derselben an irgend einer Stelle der Riss grösser und grösser wird. Die Membran wird nun neben den Rissstellen in ihre stabile Form sich krümmen, ihrem normalen Krümmungsradius entsprechend; sie hat das Bestreben, sich zu einem Bläschen von normalem Krümmungsradius zu schliessen. Von dem grossen Bläschen löst sich daher ein Membranstück ab, formt sich durch Annahme des normalen Krümmungsradius zu einem kleinen Bläschen um von normaler Grösse. War beim Wachstumsvorgange jenes ursprüngliche Bläschen gross genug geworden, so konnten sich aus den Teilstücken seiner Membran die Hüllen von zwei, von drei oder von mehr neuen normalen Bläschen bilden. Ein Teil der im ursprünglichen grossen Bläschen vorhandenen Flüssigkeit muss bei diesem Teilungsprozesse seiner Membran verloren gehen, weil bekanntlich eine und dieselbe Oberfläche, eine einzige Kugel einhüllend, ein grösseres Volumen begrenzt, als wenn sie viele kleine Kugeln einhüllt.

Fortpflanzung durch äquale Teilung.

Häufiger wird der zweite Fall eintreten, dass die Membran bezüglich des Volumens, welches sie höchstens einschliessen kann, in stärkerem Verhältnis wächst als die von ihr eingeschlossene Flüssigkeit. Denn die Membran selber ist ja die Werkstätte, der Ort, in dessen nächster Nähe die hauptsächlichsten chemischen Umwandlungen zu stande kommen. Also werden sich ihre eigenen Molekeln im allgemeinen am allerleichtesten bilden. Nur diejenigen Atomgruppen oder Atome, welche von den Membranfistellen hindurchgelassen, welche gewissermassen freigelassen werden, können im Inneren des Bläschens zu Flüssigkeitsmolekeln sich zusammensetzen, wenn die Bedingungen hierfür günstig genug sind. Ausserdem wächst aber die Oberfläche mit dem Quadrat der linearen Dimensionen, wenn das Gebilde bei seinem Wachstum sich ähnlich bleibt, während das Volumen mit der dritten Potenz derselben wachsen muss. Somit ist eine grosse Wahrscheinlichkeit dafür vorhanden, dass die Oberfläche des Bläschens in dem angegebenen Sinne verhältnismässig stärker wachse als sein Inhalt. Unter solchen Umständen kann aber diese Oberfläche keine Kugelfläche mehr bleiben. Das Bestreben der in ihrer Gesamtfläche sich vergrössernden Membran ist, stets ihre normale Krümmung anzunehmen, nämlich diejenige einer kleineren Kugelfläche mit dem Radius R (Fig. 30, S. 64). Sie liegt also der innen befindlichen Flüssigkeit so viel als möglich an, sucht wenigstens an einzelnen Stellen ihre normale Krümmung zu erreichen, weil sie nicht durch inneren Flüssigkeitsdruck angespannt, in eine einzige Kugelfläche übergeführt wird. Denn sie strebt fortwährend nach ihrem stabilen Gleichgewicht. Unter diesem Bestreben entsteht aus dem kugelförmigen Bläschen durch genügend starkes Wachstum seiner Membran ein länger und länger werdendes Ovoid, es bildet sich in diesem eine Ein-

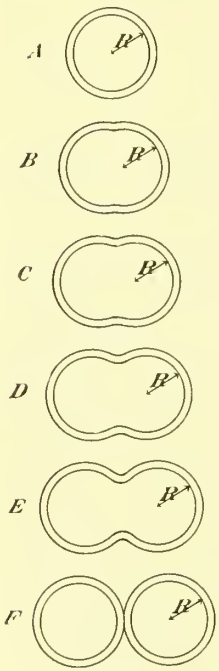


Fig. 55.

schnürung, und zuletzt gehen aus dem vergrösserten Bläschen zwei kleinere Bläschen von normaler Grösse, mit normalem Krümmungsradius R hervor, ungefähr so, wie die nebenstehende Figur 55 A—F es zeigt, in welcher der für die zugehörigen Fistellen günstigste Krümmungsradius R jedesmal eingetragen ist. In diesem zweiten Falle teilt sich also das Bläschen bei seinem Wachstum in zwei ganz gleiche Bläschen von normaler Grösse.

Wachstum des Körnchens.

Der Aufbau eines Körnchens ist unserer Definition (S. 79) zufolge von demjenigen eines Bläschens dadurch verschieden, dass bei jenem die innerhalb seiner Membran befindliche Substanz nicht eine Flüssigkeit ist wie bei diesem, sondern eine mehr oder weniger starre Masse. Wächst nun seine innere Substanz so stark, dass die Membran des Körnchens ihrem Wachstum nicht zu folgen vermag, so zerreisst letztere. An den Rissstellen entstehen, wegen der durch sie vergrösserten Anlagerungsflächen der Fistellen, leichter neue Fistellen als an den unverletzten glatten Membranen, so dass sich unter Umständen die zerrissene Membran immer wieder schliessen kann. Sodann kommen an solchen Rissstellen im allgemeinen drei verschiedene Substanzen zu unmittelbarer Berührung: die innerhalb der Membran befindliche Körnchensubstanz, die Membransubstanz selber und die ausserhalb derselben befindliche Nahrungsflüssigkeit. Dadurch ist, wie wir früher zeigten (S. 77), eine günstige Gelegenheit zur Entstehung ganz neuer Molekelarten, eventuell neuer Fistellenarten gegeben, beispielsweise solcher, welche cylindrische Membranen, Röhrchen, Fibrillen von mehr oder weniger grosser Steifigkeit bilden, analog wie dies beim Ovoid (Fig. 42, 43) für den Pol a oder b und unter Umständen bei der Kugel (Fig. 48) gefunden worden ist.

Fortpflanzung durch Knospung.

Wenn bei dem Körnchen die Oberflächenmembran stärker wächst, als es dem Wachstum ihres Inhalts entspricht, so muss dieselbe Ausstülpungen oder Einstülpungen erhalten, also Falten, Höcker usf. Ist die innen befindliche Körnchensubstanz sehr starr, so werden über die ganze Oberfläche verteilte Höcker,

ist sie wenig starr, vielmehr einigermassen deformierbar, so werden Falten auftreten können. Auch hier hat eben die Oberflächenmembran stets das Bestreben, ihre normale Krümmung zu gewinnen. An derjenigen Stelle, an welcher die Körnchenmembran am stärksten wächst, wird der stärkste Höcker entstehen. Es wird somit ein solches Körnchen, vermöge seines gleichzeitigen Wachstums an seiner gesamten Oberfläche, gleichmässig an Volumen zunehmen, in ziemlich ähnlich bleibender Gestalt wird es grösser und grösser werden; wegen des verstärkten Wachstums seiner Oberflächenmembran an einer einzelnen Stelle wird sich aber hier ein Höcker an demselben ausbilden, welcher gleichfalls grösser und grösser wird und dessen Membran den normalen günstigsten, zu den bt. kegelförmigen Fistellen gehörigen Krümmungsradius R möglichst beibehält. Hat die Höckeroberfläche die zugehörige Halbkugelfläche an Grösse überschritten, so beginnt ein neues Körnchen von normaler Grösse sich abzuschnüren, wie dies aus der Figur 56 A—F hervorgeht, in welcher R den günstigsten Krümmungsradius der Körnchenmembran darstellt. Aus dem vergrösserten Körnchen knospt also an einer Stelle, an der Stelle des stärksten Wachstums der Körnchenmembran, ein neues Körnchen von normaler Grösse heraus.

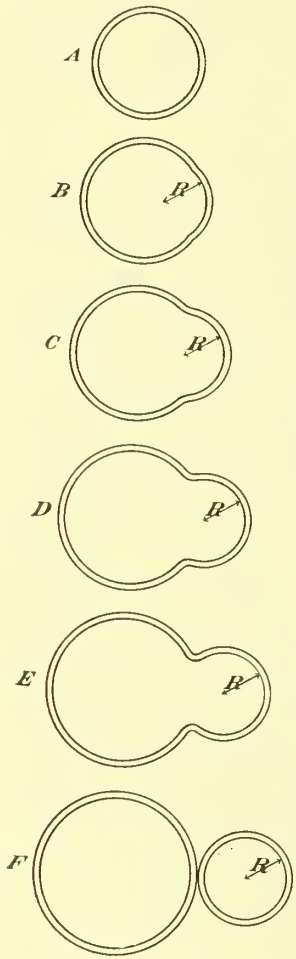


Fig. 56.

Der soeben beschriebene Knospungsvorgang kann in ganz ähnlicher Weise auch bei Bläschen zu stande kommen, dann nämlich, wenn die Bläschenmembran durch eigenes Dickenwachstum, durch Apposition, verhältnismässig starr geworden ist. Falls in dieser verstärkten Membran eine einzige Stelle etwas schwächer ausgefallen ist als die übrigen, so wird sie beim weiteren verstärkten Membranwachstum, durch Intussusception,

leichter sich vorwölben als alle ihre starreren Stellen. Es wird sich eine Knospe bilden, ungefähr so, wie es in der Figur 56 dargestellt ist.

Wachstum und Fortpflanzung von Röhrchen und Fibrillen.

Analog wachsen Röhrchen ausser in die Länge auch in die Dicke. Wächst die Röhrchenmembran verhältnismässig stärker als der Röhrcheninhalt, so schnüren sich ihre Querschnitte ein, sie teilen sich — wie dies wiederum aus der Figur 55 A—F ersehen werden kann, welche nun die Querschnitte der Röhrchen darstellt —, wenn die Röhrchenmembran überall gleichmässig und noch dünn ist. Ein Röhrchen dagegen, dessen Membran durch Apposition bereits verhältnismässig dick und starr geworden ist, wird sich vermöge des Wachstums seiner Membran durch Intussusception noch in der in der Figur 56 erläuterten Weise teilen können. Die gleiche Figur stellt die Querschnittsänderungen dar bei der Teilung einer Fibrille infolge des Dickenwachstums derselben über ihr normales Mass hinaus. Ist aber die in einem Körnchen oder in einer Fibrille vorhandene Substanz sehr leicht deformierbar, durch Verschiebungen ihrer Fistellen und ihrer Molekeln, so dass sie hierin einer Flüssigkeit ähnlich wird, so kann auch das Körnchen oder die Fibrille „äqual", in zwei gleich grosse und gleichartige Teile sich zerschnüren, nach Massgabe der Figur 55.

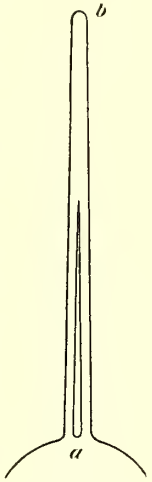


Fig. 57.

Röhrchen und Fibrillen, welche mindestens an einem Ende offen sind oder an diesem mit einem grösseren geschlossenen Raume zusammenhängen (zb. Fig. 43), können von innen herauswachsen dadurch, dass durch dieses Ende Nahrung in irgend einer Form in ihr Inneres eintritt und hier den Stoffwechsel entstehen lässt, welcher zum Wachstum des Röhrchens oder der Fibrille führt. Unter solchen Umständen teilt sich die bt. Membran nicht ihrer ganzen Länge nach gleichzeitig, sondern zuerst da, wo der Stoffwechsel der regste ist, also an der Eintrittsstelle der Nahrung in ihr Inneres (Fig. 57 a). Von dieser Stelle an schreitet die Teilung längs des Röhrchens oder der Fibrille

fort, und vom Ende b bis zur Eintrittsstelle a der Nahrung sieht man in diesem Falle die Querschnitte A—F der Figur 55 oder 56 alle nebeneinander.

Fortpflanzung der Gastrula.

Wächst die Gastrula infolge ihres Stoffwechsels mehr und mehr durch Intussusception, so dass der Krümmungsradius ihrer Membran über sein normales Mass hinaus zu sehr vergrössert wird, und assimiliert sie immer noch weiter, so kann auch sie ähnlich wie die soeben behandelten Fistellengebilde „äqual" oder durch Knospung „inäqual" sich teilen, also in zwei gleich oder in zwei ungleich grosse gleichartige Gastrulagebilde. Oder es kann eine eben neu gebildete Fistelle, welche sich ausserhalb einer Gastrulamembran durch Apposition anzulagern sucht, beispielsweise neben dem Porus P (Fig. 52), dort nicht mehr genügenden Halt finden. Denn die in die Membran mit dem nunmehr zu grossen Krümmungsradius aufgenommenen Fistellen sind zu stark deformiert (Fig. 32, S. 65). Die neue Fistelle lagert sich nur lose an die Gastrulamembran an, oder sie löst sich ganz von ihr ab, assimiliert auf eigene Rechnung, erzeugt selber eine neue ähnliche Gastrula. Dadurch kommt noch eine andere Fortpflanzungsart dieser einfachsten Gastrulen zu stande. Jene neue Fistelle hat sich frei gebildet, ohne fest an eine Nachbarfistelle gebunden zu sein; sie lagerte sich, wie erwähnt, nur lose an. Unter diesen veränderten Anlagerungsbedingungen ist ihre Konstitution eine entsprechend andere als diejenige der Fistellen, welche sie durch Assimilation erzeugten. Ihre Konstitution muss gleich sein derjenigen der ersten Fistelle, aus welcher jene ältere Gastrula entstanden ist, wenn die übrigen äusseren Bedingungen, insbesondere die sämtlichen Nahrungsverhältnisse während der Wachstums- und Fortpflanzungsvorgänge immer die analogen geblieben sind. Unter der Annahme der Konstanz der Lebensbedingungen haben nämlich beide Gastrulen, die ältere und die jüngere, aus gleichen Fistellen hervorgehen müssen. Ist aber die Konstitution nicht die gleiche geblieben, so kann sie für die gegebenen äusseren Verhältnisse nur eine günstigere geworden sein. Die Fistelle muss sich ihrer äusseren Umgebung, den Nahrungsbedingungen besser angepasst haben. Anderenfalls unterliegt sie und das aus ihr entstehende

neue Gebilde im Kampf ums Dasein, im Kampf um die Nahrung mit anderen günstiger veranlagten Gebilden der Umgebung und damit unterbleibt auch die weitere Fortpflanzung jenes Gebildes.

Wie bei der Gastrula, so kann unter entsprechend günstigen Umständen auch bei anderen Fistellengebilden die Fortpflanzungsart vermittelst solcher Einzelfistellen vorkommen, welche durch eine geeignete Einwirkung sich ablösen und sodann auf eigene Rechnung assimilieren. Aus jeder unter gleichen Bedingungen sich ablösenden Fistelle wird bei gleicher Nahrung, bei gleichen Lebensbedingungen auch wieder ein gleiches Fistellengebilde entstehen.

Gegenseitigkeitsverhältnis in Fistellengebilden.

Wo komplizierte Molekeln, Fistellen in einer passenden Nahrungsflüssigkeit vorhanden sind, können ausser den gleichen oder fast gleichen Molekeln und Fistellen auch völlig ungleiche Molekeln und Fistellen erzeugt werden, wenn sie nur in einem entsprechenden Gegenseitigkeitsverhältnisse, in dem passenden Resonanzverhältnisse zu jenen ersten gegebenen Molekeln und Fistellen stehen (S. 76). In dieser Weise entsteht unter passenden Bedingungen im Inneren eines Bläschens, eines Röhrchens, einer Gastrula ausser der bereits betrachteten eine zweite ganz andere Substanz, ebenso eine dritte, eine vierte usf. Es werden möglicherweise in jenem Inneren sogar andere kleinere Bläschen, Körnchen, Röhrchen, Fibrillen sich bilden, auch kleinere Gastrulen. Ist aber alle überschüssige Nahrung aufgebraucht, wird fortan nur noch so viel neue Nahrung zugeführt, als für die Existenz des ganzen Gebildes im Kampf ums Dasein für seinen Stoffwechsel unbedingt notwendig ist, um es vor dem Zerfall zu schützen, so muss sich allmählich ein gewisses Gleichgewicht zwischen seinen einzelnen Substanzen, zwischen seinen einzelnen kleineren Gebilden herstellen. Zwischen diesen kommt ein passendes Gegenseitigkeitsverhältnis, eine Korrelation zu stande. Bis eine solche erreicht ist, kann jeweilen die eine Substanz auf Kosten einer anderen Substanz noch weiter wachsen, wenn für jene die Wachstumsbedingungen entsprechend günstiger sind als für diese.

Bei allen beschriebenen Fistellengebilden ist daher unseren

bisherigen Entwicklungen zufolge eine Fortpflanzung durch Teilung (äqual und inäqual), durch Knospung und durch Ablösung einzelner Fistellen (oder Molekeln von solchen) denkbar.

F. *Strukturverhältnisse.

Es ist lehrreich und interessant, bevor wir aus dem bis jetzt behandelten Reiche des unsichtbar Kleinen übergehen in das Reich des Sichtbaren, zuerst noch einen Blick in die Gebiete der praktischen Chemie und Physik zu werfen.

*Konstitution der Molekeln.

Jede Molekel hat eine bestimmte Struktur, welche durch die zwischen ihren einzelnen Atomen wirksamen Affinitätskräfte genau geregelt ist, wie einfach oder wie kompliziert sie auch sonst sein möge. Der ganze aus Molekeln aufgebaute Körper hat eine bestimmte Struktur. Ist derselbe fest und besteht er aus einer reinen Substanz, so sind seine Molekeln gleich orientiert, also kristallinisch aneinander gelagert, wenn ihnen bei ihrer Ausscheidung Zeit genug zu solcher Anlagerung gelassen wurde. Die Affinitätskräfte sind Funktionen der Temperatur, des Lichtes, der Elektrizität usf.; deshalb können die gleichen Atome unter verschiedenen Bedingungen in verschiedener Weise zu Molekeln sich gruppieren, verschiedene chemische Substanzen bilden. Aus analogen Gründen[1]) sind die Kohäsionskräfte unter anderen äusseren Bedingungen verschieden, zb. unter verändertem Druck, bei anderer Temperatur, in verschiedenen Lösungen, und deshalb können aus den gleichen Molekeln verschieden aufgebaute feste Körper entstehen, amorphe oder kristallinische; die letzteren können in zwei oder mehreren verschiedenen Formen kristallisieren, also dimorph sein oder trimorph usf., wie kohlensaurer Kalk (Kalkspat, optisch einachsig und Aragonit, optisch zweiachsig), wie Schwefel, wie Nickelsulfat, je nach der veränderten Anlagerungsweise der im übrigen ganz gleichartigen Molekeln. Die Fistelle hat gleichfalls eine bestimmte Struktur, jedes Atom in ihr hat seine bestimmte nur in seinen Schwingungsgrenzen veränderliche Lage.

---

[1]) Wegen des veränderten Aetherdrucks bei verschiedenen Schwingungszuständen der Atome in der Molekel, vgl. Mechanik des Weltalls S. 61.

Unsere Fistellen erinnern sehr an die Atomringe, welche besonders unter den aromatischen Körpern der organischen Chemie eine so wichtige Rolle spielen. Je kleiner der mittlere Durchmesser einer Fistelle, namentlich auch derjenige ihres Hohlraumes ist, bis zu einer gewissen unteren Grenze, um so stabiler wird dieselbe sein, um so fester hängen ihre Molekeln zusammen. Je grösser der Fistellendurchmesser ist, um so labiler ist im allgemeinen die Fistelle. Durch grosse Stabilität zeichnet sich der Benzolring C_6H_6 aus (Fig. 58), aus nur 6 Atompaaren CH bestehend. Dieser Ring kann als eine sehr einfache Fistelle aufgefasst werden. Festes Benzol muss also quellbar sein, wenn es eine Flüssigkeit giebt, deren Molekeln klein genug sind, um in das Innere des Ringes, in den Hohlraum der Fistelle hinein zu gelangen, ohne den Ring, die Fistelle zu sprengen.

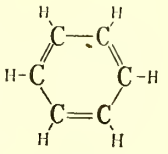


Fig. 58.

In Figur 59 ist die Benzolmolekel (ohne ihre Aetherhülle) im Schwingungszustande, also mit voneinander abstehenden Atomen perspektivisch dargestellt[1]), unter Zugrundelegung eines regulären Tetraeders für die Gestalt des C-Atoms, der Halbkugel[2]) für diejenige des H-Atoms. Dabei soll die Anlagerung der Atome an ihren Flächen der einfachen, diejenige an ihren Kanten der doppelten Bindung entsprechen. (Man erkennt deutlich je drei Flächen an jedem Tetraeder, die vierte Fläche ist vom Beschauer abgewandt.) Dass sich im Benzol keine anderen Atome mehr chemisch an den mit C in der Figur bezeichneten nicht unmittelbar einander anliegenden Flächen der Kohlenstoffatome anlagern, kann seinen Grund in einer entsprechend stark ausgebildeten Asymmetrie der Kohlenstoffatome haben, welche den von den Flächen C teilweise abgegrenzten Raum überaus spitz zulaufen lässt; oder es können die starken Schwingungen der C-Atome in der Ben-

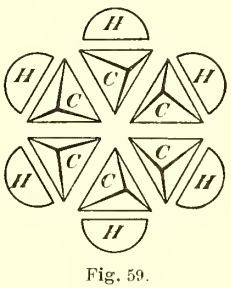


Fig. 59.

[1]) Die dem Beschauer zugewandten Kanten und Ecken sind durch verbreiterte Linien angedeutet.

[2]) Zur Begründung der Einwertigkeit von Halbkugeln vgl. Mechanik des Weltalls S. 62.

zolmolekel daran schuld sein, welche jedes fremde Atom aus diesem Raume wieder hinauszuwerfen suchen; oder es mögen endlich in gewissen Fällen beide Ursachen zusammenwirken.

Verfolgen wir die Bildung einer anderen, sehr einfachen Fistelle mit Hilfe der Atomgruppe HCOH, in welcher das C- und das O-Atom nur einfach aneinandergebunden sind, so dass am C-Atom noch zwei Bindungen freibleiben. Wir wollen annehmen, ein Atom oder eine Atomgruppe R mit zwei freien

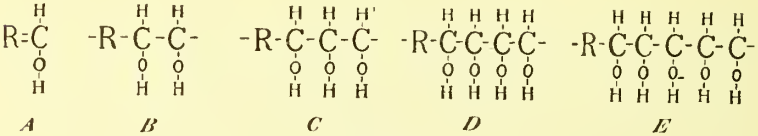


Fig. 60.

Bindungen sei an jenes C-Atom angelagert; jedoch seien diese zwei Bindungen lösbar, die eine von ihnen sogar leicht lösbar. Die ganze betrachtete Molekel können wir dann bildlich darstellen durch die Atomgruppe A (Fig. 60). Es befinde sich diese Molekel in einer Nahrungsflüssigkeit, welche die Atome C, O, H frei enthält oder in Molekeln, die sich zerlegen lassen; die Atomgruppe R sei nicht weiter in der Flüssigkeit vertreten. Unter den entsprechenden Einflüssen (passende Temperatur usf.) beginnt diese Molekel zu assimilieren, wie wir S. 37 gefunden haben. Es entsteht eine zweite Atomgruppe HCOH neben der ersten, legt sich in gleicher Orientierung an sie an. Die eine leicht lösbare Bindung von R wird gelöst und wir erhalten die Atomverbindung B (Fig. 60). Die soeben gebildete Atomgruppe assimiliert weiter, es entstehen der Reihe nach die Atomverbindungen C, D, E (Fig. 60). Aus E wird durch Anlagerung einer sechsten gleichen Atomgruppe ein geschlossener Ring, die Atomgruppe R mit den zwei lösbaren Bindungen wird weggeworfen; denn jene sechste gleiche Atomgruppe passt nun auf die anderen Gruppen und in den Ring hinein, es ensteht der fest geschlossene Ring, die Fistelle $C_6H_{12}O_6$. Indem sich die in Figur 59 mit ihren ganzen Flächen einander zugewandten C-Tetraederpaare anders aneinanderlegen (wie dies zb. durch Addition von Chlor zu Benzol in den Benzolchloriden $C_6H_6Cl_2$, $C_6H_6Cl_4$, $C_6H_6Cl_6$ wohl Schritt für Schritt geschehen wird),

entsteht eine Gruppe von 6 C-Atomen, welche 12 freie Flächen für 12 Bindungen aufweist, wie aus der Figur 61 ersichtlich ist[1]). An diesen Flächen können sich in einer Richtung, zb. gegen den Beschauer hin, die 6 H-Atome, in der anderen Richtung, vom Beschauer abgewandt, die 6 Gruppen OH anlagern. Die Konstitutionsformel dieser Molekel, dieser Fistelle, wie wir sie wegen ihrer ringförmigen Anordnung der 6 Atomgruppen genannt haben, ist in Figur 62 A angegeben, unter der Voraussetzung, dass in jeder Ecke des Sechseeks ein mit seinen Nachbar-C-Atomen durch einfache Bindungen verbundenes C-Atom angenommen wird. Dass diese Fistelle ein stabiles System darstellt, geht aus der Tetraederform des C-Atoms und aus der Figur 61 hervor.

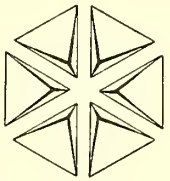


Fig. 61.

Wir wissen, dass zahlreiche Isomerien von $C_6H_{12}O_6$ möglich sind. Wird nämlich eine von jenen sechs gleichen Atomgruppen des Ringes wegen eines äusseren Einflusses, zb. die 6. Gruppe wegen der noch nicht abgespaltenen Gruppe R, in umgekehrter Orientierung in den Ring eingefügt, so erhalten wir eine Substanz von der Konstitutionsformel B (Fig. 62); durch mehrere

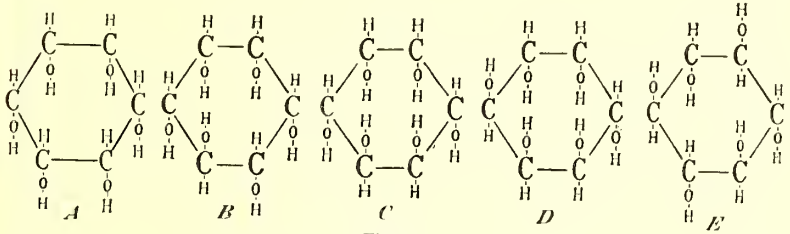


Fig. 62.

solche Störungen entstehen Molekeln von den Konstitutionsformeln C, D, E usf. Noch mehr Isomerien könnten entstehen durch Anlagerung verschiedenartiger Flächen der vielleicht asymmetrischen C-Atome aneinander. Die in ihrer Konstitutionsformel von Figur 62A abweichenden Atomaggregate, Atomringe

[1]) Es wäre ein Zufall, wenn ein Kantenwinkel des asymmetrischen Kohlenstoffatoms genau 60° betrüge, wie in dieser Figur annähernd angenommen wurde.

wollen wir als „gestörte“ Fistellen auffassen. Wir wissen, dass sie, wenn einmal in einer passenden Nahrungsflüssigkeit vorhanden, fortwährend neue gleichartige Fistellen zu erzeugen bestrebt sind (S. 68). Kohlehydrate von der Formel $C_6H_{12}O_6$ sind sehr viele gefunden worden; ich nenne nur als die bekanntesten den Traubenzucker (Dextrose bz. Glukose), den Fruchtzucker (Lävulose). Auch diese Zuckerarten müssten quellbar sein, wenn ihr innerer Aufbau aus Atomen den von mir gegebenen Konstitutionsformeln, wenn er der Fistellenform entspricht, und wenn überdies Flüssigkeiten mit passend kleinen Molekeln vorhanden wären.

In jeder von jenen gestörten Fistellen (Fig. 62, B, C, D, E) lagern eine OH-Gruppe und ein H-Atom unmittelbar nebeneinander an benachbarten C-Atomen. Vereinigen sich dieselben zu einer Wassermolekel, so werden die zwei entsprechenden C-Bindungen frei. Die beiden bt. C-Atome lagern sich um, drehen sich vielleicht so, dass nur noch je eine Fläche von jedem derselben nach aussen frei bleibt, und es entsteht eine Substanz von der Molekularformel $C_6H_{10}O_5$. Stärkemehl, Dextrin, Cellulose sind Substanzen, deren Molekeln wahrscheinlich Vielfache dieser Atomgruppe sind. Die Quellung des Stärkemehls in Wasser ist eine bekannte Erscheinung, ebenso zeigt Cellulose unter Umständen Quellungserscheinungen.

In ganz ähnlicher Weise stellen wir uns eine kompliziertere Molekel vor von der Konstitutionsformel A (Fig. 63), mit zwei mehr oder weniger leicht lösbaren Bindungen von R, in einer

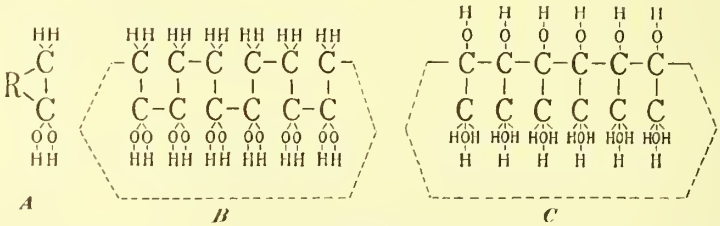


Fig. 63.

Nahrungsflüssigkeit, welche die Atome C, O, H in passenden lösbaren Verbindungen, aber keine Atome der zweiwertigen Gruppe R enthält. Durch Assimilation der an R gebundenen Atomgruppe $C_2H_4O_2$ (Fig. 63 A) entsteht eine ihr gleiche und gleich orientierte Atomgruppe. Die eine leichter lösbare Bindung

der Gruppe R wird gelöst, dafür werden die beiden Atomgruppen $C_2H_4O_2$ aneinandergefesselt. Nun werden immer mehr solche gleiehartige Atomgruppen $C_2H_4O_2$ assimiliert, bis zur seehsten, und diese schliesst, wegen der Tetraederform des C-Atoms, den Ring. Die Gruppe R wird dabei, weil ihre Bindungen als lösbar angenommen wurden, abgeworfen. Sie muss sieh an andere verfügbare Atome der Nahrungsflüssigkeit anlagern. So entstehen Kohlehydrate von der Molekularformel $C_{12}H_{24}O_{12}$, deren Struktur aus der in eine Fläehe abgewickelt gedachten Fistelle B (Fig. 63) leichter verständlich ist als aus einer räumlichen Darstellung derselben. Aehnlich wie in Figur 61 lassen sich hier alle 12 C-Atome perspektivisch in einen Ring einzeichnen. Dabei ist, jener Konstitutionsformel B (Fig. 63) entsprechend, eine obere und eine untere Lage von je 6 C-Atomen so anzunehmen, dass zb. je ein oberes mit einem benachbarten oberen und einem benachbarten unteren, also auch je ein unteres mit je einem benachbarten Atome unten und oben durch einfache Bindung verbunden ist, das heisst dass die genannten Atome jeweilen mit einer ihrer Flächen gegeneinander gekehrt sind. Verlieren diese Kohlehydrate an einer Stelle eine OH-Gruppe und ein daneben angelagertes H-Atom als Wassermolekel, so verwandeln sie sieh in das entspreehende Anhydrid $C_{12}H_{22}O_{11}$. Rohrzucker und Milchzucker sind die bekanntesten Kohlehydrate, welchen wir eine solehe Konstitutionsformel zusehreiben können. Verlieren sie zwei Wassermolekeln, so wird aus ihnen $C_{12}H_{20}O_{10} = 2\,(C_6H_{10}O_5)$.

Uebrigens lassen sich für dicse Kohlehydrate noch andere Konstitutionsformeln angeben. In C (Fig. 63) sind nicht alternierende, sondern nebeneinander befindliche C-Atome der oberen Lage direkt aneinandergebunden, wie bei den Kohlehydraten $C_6H_{12}O_6$. Ferner kann jedes obere C-Atom mit den zwei benachbarten unteren C-Atomen und daher auch jedes untere mit den entspreehenden zwei oberen verbunden sein (Fig. 64 A); es können zwei obere, zwei untere und wieder zwei obere benaehbarte C-Atome (Fig. 64 B) oder drei obere und drei untere benachbarte C-Atome jeweilen aneinandergekettet sein (Fig. 64 C); auch eine obere und fünf untere Bindungen sind denkbar, dazu noch verschiedene andere Anordnungen jener Bindungen. Demnach sind vermöge der verschiedenen Bindungsarten der C-Atome

selber schon viele Isomerien möglich, ganz abgesehen von den verschiedenen Anlagerungsarten der OH-Gruppen und der H-Atome an die frei gebliebenen Flächen der C-Atome.

Mit noch komplizierteren Atomgruppen erhält man selbstverständlich noch kompliziertere Fistellen, zb. auch solche mit weiteren Hohlräumen, welche leichter Quellungserscheinungen erkennen lassen. Uebrigens ist die nach dem Schema der Figur 64A aufgebaute Fistelle mit weiterem Hohlraume

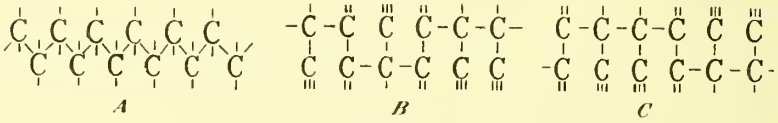


Fig. 61.

ausgestattet, als die Fistellen nach den anderen Anordnungen der Figur 64 oder gar als diejenige, welche der Figur 63C entspricht.

Bei der in Gedanken vorgenommenen Synthese der Atomgruppen CH_2O zu Kohlehydraten von der Molekularformel $C_6H_{12}O_6$ und der Atomgruppen $C_2H_4O_2$ zu solchen von der Formel $C_{12}H_{24}O_{12}$ haben wir eine zweiwertige Hilfsatomgruppe R nötig gehabt. Nur durch Vermittelung dieser Gruppe R gelingt möglicherweise die Synthese. Dabei vermittelt dieselbe immerfort die Erzeugung weiterer gleichartiger Kohlehydratmolekeln, ohne jemals aufgebraucht zu werden, so dass sie für die Synthese die Rolle eines Fermentes spielt. Eine solche Vermittlerrolle von Atomen oder von Atomgruppen ist uns auch in der anorganischen Chemie bekannt. Platinmetalle vermögen unter Umständen die Synthese des Wassers hervorzurufen. Salpetersäure findet in einigermassen ähnlicher Weise bei der Schwefelsäurefabrikation Verwendung.

*Doppelbrechung.

Weil jede Molekel, jede Fistelle, weil jede aus gleich orientierten Molekeln oder Fistellen aufgebaute Substanz eine bestimmte Struktur besitzt, so muss jede solche Substanz im allgemeinen in optischer Beziehung doppelbrechend sein. Denn ein polarisierter Lichtstrahl, in welchem die Aetherteilchen zb. nach der Fistellenachse schwingen, trifft dabei auf ganz

andere Elastizitätsverhältnisse in den Fistellen als ein solcher, in welchem die Aetherteilchen senkrecht zur Fistellenachse schwingen. Nur Flüssigkeiten, in welchen die Fistellen nach allen möglichen Richtungen gleichmässig orientiert sind, zeigen keine Doppelbrechung. Solche Doppelbrechungen sind in organischen Substanzen, welche aus Fistellen aufgebaut sein müssen, vielfach nachgewiesen worden. Wir werden an anderer Stelle (im folgenden Kapitel) auf die bezüglichen Experimente verweisen.

*Optisches Drehungsvermögen.

Bei der Vereinigung von Atomgruppen, von Molekeln zu Fistellen haben wir bis jetzt nur die chemischen Bindungen der C-Atome für die Anlagerung neuer Gruppen berücksichtigt. Doch werden, wenn wirklich Fistellen zu stande kommen, auch die O- und die H-Atome benachbarter Gruppen unmittelbar neben oder sehr nahe aneinander sich befinden. Auch sie werden also nicht ganz ohne Einfluss auf die Anlagerung der Atomgruppen aneinander sein. Nehmen wir an, 6 lineare Atomgruppen haben sich entweder so zur Fistelle aneinandergelagert, wie es in der Figur 65 A, die Fistelle in eine Ebene abgewickelt gedacht, angedeutet ist, oder so, wie es die Figur 65 B oder C unter sonst gleichen Verhältnissen zeigt. Man sieht, dass die aus B und C hervorgehenden Fistellen Substanzen angehören werden, welche einen geradlinig polarisierten in der Achsenrichtung durch die Fistellen hindurchgeschickten Lichtstrahl drehen, also „aktiven“ Substanzen. Denn eine solche Fistelle erhält eine schraubenförmige Gestalt, eine rechtsgewundene oder eine linksgewundene. Durch diese Gestaltung werden die Elastizitätsverhältnisse ihrer Aetherhülle in der Weise beeinflusst, dass das optische Drehungsvermögen, dass die

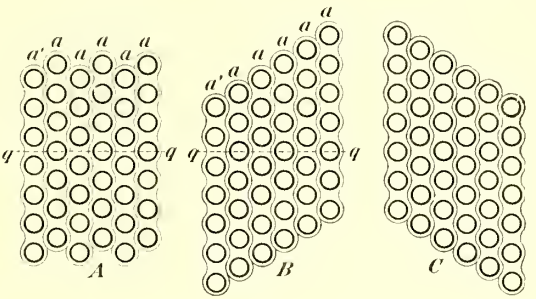


Fig 65.

natürliche Zirkularpolarisation des Lichtes [1]) auftreten muss, und zwar erfolgt je nach der Art der Molekelanlagerung und der Krümmung zur Fistelle (B oder C) die Drehung des Lichtstrahls im einen oder im anderen Sinne. Sind beispielsweise alle diese 6 linearen Atomgruppen genau gleich und gleich orientiert, so wird aus A eine Fistelle hervorgehen, welche optisch inaktiv ist, aus B eine solche, welche etwa rechts, aus C eine solche, welche in diesem Falle genau gleich viel links dreht. B und C ergeben also optische „Antipoden"; eine Vereinigung beider zu einer Molekel ergiebt einen „Racemkörper".

Sind die Atomgruppen in A nicht alle einander gleich, ist also eine von ihnen etwa in umgekehrter Orientierung angelagert oder überhaupt von den übrigen Gruppen verschieden, so wird die aus A gebildete Fistelle gleichfalls aktiv sein. Wenn dann in B und in C die gleichen Gruppen gleich orientiert sind wie in A, nur in entsprechender Weise bei ihrer Aneinanderlagerung versetzt, wie es die Figur zeigt, so wird der arithmetische Mittelwert aus den optischen Drehungen von B und von C ungefähr gleich der Drehung von A sein; diese ist also auch gleich der Drehung einer Verbindung von B mit C.

Durch solche ungleichartige Anlagerungen der Atomreihen aneinander zu Fistellen, wie sie A, B und C (Fig. 65) zeigen, wird die Zahl der sonst möglichen Isomeren verdreifacht. Von den Kohlehydraten $C_6H_{12}O_6$ sind zb. 8 Isomere bei jeder der 3 Anlagerungsarten A, B oder C denkbar, durch Vertauschungen der OH-Gruppen mit den H-Atomen, so dass wir 24 Isomere allein dadurch erhalten. Nun kann aber die Anlagerung der Atomreihen aneinander teils der Anordnung A, teils derjenigen B oder C folgen, wodurch noch weit mehr Isomere möglich werden. Von den zahlreichen Isomeren der Kohlehydrate $C_6H_{12}O_6$ sind nach Landolts Angaben [2]) 21 mehr oder weniger untersucht. Mir scheinen die Beobachtungen an denselben mit der von mir vermuteten Fistellenkonstitution aller dieser Kohlehydrate gut verträglich zu sein. Namentlich ist noch hervorzuheben, dass diejenigen Atome, welche bei der Schliessung der Fistelle über die Hauptmasse aller Atome hervorragen, zb. etwa die

[1]) Mechanik des Weltalls, S. 67.

[2]) H. Landolt, Das optische Drehungsvermögen, S. 18—25. 2. Aufl. Braunschweig 1898.

entsprechenden neben aa (Fig. 66) befindlichen Atome, chemischen Einwirkungen leichter ausgesetzt sind als andere, dass sie sich besonders leicht von der Fistelle abspalten, durch andere Atome oder Atomgruppen sich ersetzen lassen; dass ferner in den Vertiefungen aa der Molekelreihen besonders leicht neue Atomgruppen sich einlagern.

Das optische Drehungsvermögen ist bekanntlich von vielen äusseren Einflüssen mehr oder weniger abhängig. Auch diese Eigenschaft desselben scheint mir aus der Fistellenkonstitution leicht ableitbar zu sein. Je nach der Natur des Lösungsmittels oder nach der Konzentration der Lösung lagern sich fremde Atomgruppen an diese schraubenförmig gewundenen Fistellen an. Sie füllen beispielsweise Lücken aus an denjenigen Stellen, an welchen die benachbarten Atomreihen — etwa in Folge der Schliessung des Ringes, der Fistelle — am stärksten gegeneinander verschoben erscheinen (aa Fig. 66). So kann sich die Wassermolekel anlagern („Hydratation") und sie kann sogar mitkristallisieren. Auch in das Innere der Fistelle, in den Fistellenhohlraum werden sich unter Umständen fremde Atomgruppen hineindrängen. Jede solche engere Vereinigung fremder Atomgruppen bz. ganzer Molekeln mit den Fistellen muss aber die Elastizitätsverhältnisse ihrer Aetherhüllen ändern. Sie muss im allgemeinen das optische Drehungsvermögen, die Aktivität der Substanz ändern.

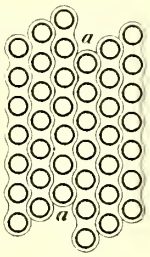


Fig. 66.

Leicht verständlich ist ferner der Einfluss der Temperatur auf die Aktivität: Je stärkeren Stössen von aussen die Fistellenatome ausgesetzt sind, je stärker sie selber schwingen, der höheren Temperatur zufolge, um so mehr ändern sich wiederum die Elastizitätsverhältnisse ihrer Aetherhüllen. Die ganze Gestalt der Fistelle ändert sich. Die Fistelle wird bei heftigeren Schwingungen ihrer Atome nicht nur ausgeweitet, sondern auch verlängert, beides im allgemeinen in verschiedener Weise. Auch die Steigungsverhältnisse der schraubenförmigen Anlagerung der Atomreihen werden geändert. Solchen Aenderungen muss aber die Aktivität notwendig in ihrer Weise folgen. — Ebenso werden elektrische und magnetische Einwirkungen die Aktivität der Substanzen ändern, wenn sie die Aetherhüllen der Fistellen

entsprechend beeinflussen[1]), wenn sie beispielsweise die Fistellen, die Molekeln in bestimmter Weise orientieren.

Die Multirotation, das heisst, die Erscheinung der Aenderung der Aktivität mit der nach Herstellung der Lösung verstrichenen Zeit, ist bei verschiedenen Substanzen durch verschiedene Ursachen erklärt worden, teils durch die Anlagerung von fremden Molekeln (Wasser bei der Hydratation) oder durch die Abspaltung von solchen, teils durch die Umwandlung in Isomere (nach Landolt, Erdmann, E. Fischer, van t'Hoff, Wislicenus usf.)[2]). Dass solche allmähliche Veränderungen in einer Substanz bei unserer Fistellenkonstitution wirklich die Aktivität derselben beeinflussen müssen, haben wir schon weiter oben, zb. bei Besprechung des Einflusses des Lösungsmittels, erkannt.

[1]) Vgl. Mechanik des Weltalls, S. 79.
[2]) H. Landolt, l. c. S. 243—245.

3. Kapitel

Zellen, Protisten.

Nachdem wir in unseren bisherigen Entwicklungen Formen und Gebilde abgeleitet haben, welche stets noch so klein sein können, dass sie uns auch mit den allerbesten Mikroskopen niemals sichtbar sind, wollen wir uns nun der Entstehung grösserer Gebilde zuwenden. Wir ziehen zuerst die einfachsten Lebewesen: die Moneren, die Protisten, und somit auch die Zellen, welche als die Elementarorganismen der höheren Lebewesen bezeichnet werden, in den Kreis unserer Betrachtungen. Dabei müssen wir uns die Frage vorlegen, an welcher Stelle des beschriebenen Wachstums von Substanzen und von Gebilden denn das organische Leben beginne? Diese Frage ist von E. Haeckel, von M. Verworn usf. dadurch einfach beseitigt worden, dass die genannten Forscher behaupten, alle an organischen Wesen beobachteten Vorgänge könne man in entsprechend geringerem Masse bei den anorganischen Körpern wiederfinden. In der That scheinen unsere Ergebnisse des vorigen Kapitels für eine solche Anschauung zu sprechen. Wir wollen diese Ergebnisse in aller Kürze wiederholen.

Rekapitulation.

Von den einfachen Atomen sind wir ausgegangen. Wir haben zuerst ihre Zusammenlagerung zu Molekeln beschrieben. Die Atome können sich linear aneinanderreihen, flächenartig nebeneinander und räumlich aufeinander legen zu Molekeln. Aus linearen Atomreihen entstehen linear ringförmige oder durch passende Zusammenlagerung flächenartige oder stäbchenartige räumliche Molekeln, aus letzteren kleine Hohlcylinderchen oder Hohlkegelstumpfe, wenn dieselben trapezförmige Querschnitte be-

sitzen und wenn andauernd die entsprechende „Nahrung“ für die Bildung gleichartiger Molekeln da ist. Solche Hohlgebilde nannten wir „Fistellen“ (Röhrchen). Sie haben für unsere Theorie eine grosse Bedeutung. Mitten in die organischen Substanzen, in die organischen Reiche haben sie uns hineingeführt. Wie die Atome zu Molekeln, die Molekeln zu Fistellen, so setzen sich die Fistellen zu Membranen, es setzen sich Molekeln oder Fistellen zu ganzen Körpern zusammen. Molekeln und Fistellen vermehren sich in passender Nahrung, weil jede derselben wegen der in ihrer ganzen Umgebung steckenden Wärme Eigenschwingungsbewegungen mannigfacher Art ausführt und daher ein gewisses, wenn auch noch so schwaches Eigenlicht ausstrahlt. Dieses Eigenlicht begünstigt die Entstehung gleichartiger Molekeln, gleichartiger Fistellen im Kampfe, welchen wegen fortwährend wiederholter molekularer Zusammenstösse alle Molekeln, alle Fistellen miteinander führen. Es findet eine Assimilation statt, eine Selektion gleichartiger Gebilde infolge der Absorption jenes Lichtes vermöge der Resonanz. Dieser Assimilationsvorgang erfolgt leichter in Gasen und Flüssigkeiten, weniger leicht in festen Körpern. Die Assimilationsprodukte dagegen sind stabiler in festen Körpern und in Flüssigkeiten, als in Gasen.

Je nach der Gestalt der Fistellen entstehen aus denselben ebene oder kugelige oder cylindrische oder andere Membranen von noch komplizierterer Form. Membranen, welche aus nebeneinandergelagerten gleichartigen Fistellen in regelmässigem Aufbau bestehen, sind durchlässig für gewisse Substanzen oder für Bestandteile von solchen, vermöge ihrer Fistellenhohlräume. Deswegen sind Membranen mehr noch als gewöhnliche keine Fistellen enthaltende Körperoberflächen wie chemische Werkstätten aufzufassen, in deren unmittelbarer Umgebung die intensivsten chemischen Umsetzungen fortwährend zu stande kommen können, wegen jenes von allen Molekeln, von allen Substanzen ausgestrahlten Eigenlichts. Substanzen, welche aus Fistellen aufgebaut sind, müssen quellungsfähig sein. Je nach dem Bau der Fistellen selber setzt sich aus ihnen Substanz zusammen, welche mehr oder weniger kontraktil ist.

Je komplizierter eine Molekel ist, um so weniger stabil ist im allgemeinen der Gleichgewichtszustand einzelner von ihren

Atomen. Eine solche Molekel passt sich dann äusseren Existenzbedingungen mehr oder weniger an. Bei der Uebereinstimmung wenigstens ihrer Hauptschwingungszustände kann ferner — wenn passende Nahrung da ist — eine Molekelart unter dem Einflusse der Resonanz eine ganz andere Molekelart erzeugen, welche mit ihr in entsprechendem Gegenseitigkeitsverhältnisse, in Korrelation steht. So kommen Gebilde aus mehreren Substanzen zu stande, Gebilde, bestehend aus Membranen, welche noch eine oder mehrere andere Substanzen in dem von ihnen eingeschlossenen Raume enthalten: Bläschen, Körnchen, Röhrchen, Fibrillen, Gastrulen, sowie Kombinationen derselben. Wie schon die einfachen Molekeln und Fistellen, so haben diese komplizierteren Gebilde das Bestreben (welches beim Vorhandensein der passenden Nahrung von Erfolg gekrönt ist) ihnen gleichartige neue Gebilde zu erzeugen. Solche Gebilde pflanzen sich fort durch Teilung, durch Knospung, durch Ablösung einzelner Molekeln, einzelner Fistellen, aus welchen wieder gleichartige Gebilde hervorgehen. Die Nahrungszufuhr, die Umwandlung der zugeführten Molekeln in andere Molekeln, die denjenigen des bt. Gebildes gleichartig sind, und die Ausscheidung unbrauchbar gewordener Stoffe stellt den Stoffwechsel dar, welcher zu jedem Wachstum notwendig ist. Molekeln, Substanzen und Gebilde aus solchen haben bei ihrem Wachstum, bei ihrem Stoffwechsel das Bestreben, sich ihren Daseinsbedingungen anzupassen. Gebilde, zum Teil aus kontraktiler Substanz bestehend, die bei der Nahrungsaufnahme jeweilen sich kontrahiert oder expandiert, müssen sich zu ihrer Nahrung hinbewegen oder sie müssen die Nahrung zu sich heranziehen, vermöge ihrer Kontraktionsfähigkeit, wenn sie im Kampf ums Dasein existenzfähig sein, die Fähigkeit bewahren sollen, zu wachsen und sich fortzupflanzen; denn Gebilde, welche sich vermöge der Eigenschaften ihrer Substanzen entgegengesetzt verhalten, welche ihre Nahrung fliehen, gehen aus Nahrungsmangel zu Grunde.

Grenze der belebten Natur.

Wo hört nun das unorganische Reich auf, wo beginnt das organische Reich? Ist es das Wachstum, welches nur der organisierten Materie zukommt? Wir wissen, dass das Wachstum schon mit der Aneinanderlagerung der einfachen Atome zu Molekeln,

mit der Anlagerung von Molekeln aneinander zu ganzen Körpern beginnt, dass sich im unorganischen Reiche sogar Körper von bestimmten mehr oder weniger einfachen Formen, Kristalle bilden, welche in genau geregelter Weise weiter wachsen. Das Wachstum an sich ist also kein Vorgang, welcher nur den organischen Wesen eigentümlich wäre.

Ist aber die Struktur organischer Körper vielleicht eine ganz andere? Haben wir in den Fistellen dasjenige Element gefunden, welches die Struktur der organischen Wesen von derjenigen der unorganischen Körper scharf unterscheidet? Wir könnten diese Frage zu bejahen geneigt sein. Denn die Fistellen verleihen den aus ihnen bestehenden Substanzen merkwürdige Eigenschaften, welche wir bei allen organischen Wesen finden. Solche Substanzen sind durchlässig für gewisse und doch nicht für alle Flüssigkeiten, sie zeigen deshalb die Erscheinungen der Osmose; dieselben sind quellbar; aus Fistellen entsteht kontraktile Substanz. Allein finden wir diese Eigenschaften nicht auch im unorganischen Reiche? Vor allen Dingen dürfen wir nicht behaupten, dass die Anlagerung der Molekeln aneinander zu Fistellen immer nur „organische" Substanzen entstehen lasse. Wir wissen nicht, ob nicht die gleiche Zusammenlagerung auch im unorganischen Reiche möglich ist. Ja wir dürfen sogar vermuten, dass dies unter Umständen der Fall sein müsse! Was aber die Durchlässigkeit anbetrifft, so wissen wir, dass gebrannter Thon gewisse Flüssigkeiten leicht, andere fast gar nicht hindurchtreten lässt, dass festes Platin in glühendem Zustande Wasserstoff diffundieren lässt; ja es ist Amagat gelungen, flüssiges Quecksilber unter hohem Druck bei gewöhnlicher Temperatur durch sehr dicke Wände dichtesten Stahls hindurchzupressen [1]). Auch die Quellbarkeit und also in gewissem Sinne die Kontraktilität und die Expansionsfähigkeit finden wir im unorganischen Reiche. Ich erinnere zb. an die Wasserstoffaufnahme des Palladiums, welche ein Aufquellen, eine Expansion des letzteren im Gefolge hat.

Kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit eine Eigenschaft sein, welche nur bei organischen Wesen anzutreffen ist? Wir haben gefunden, dass alle Molekeln ihnen gleiche zu er-

[1]) Amagat, Ann. de chim. et de phys. (6) 29, S. 87, 1893.

zeugen, an sich anzulagern, dass sie zu assimilieren suchen, wenn sie in passender „Nahrung“ sich befinden. In dieser Weise wachsen auch anorganische Körper, Kristalle, durch Assimilation an ihrer Oberfläche. Polymorphe Körper, welche in verschiedenen Systemen kristallisieren können, geben uns ein besonders lehrreiches Beispiel für diese Assimilation. Ist nun an der Oberfläche eines solchen Körpers eine gleichartige Molekel entstanden, welche, bevor sie sich an ihre Nachbarn anlegen konnte, durch irgend eine äussere störende Wirkung hinwegbewegt wurde, so assimiliert sie fortan auf eigene Rechnung, giebt einem neuen gleichartigen Kristall den Ursprung. Der Vorgang ist ganz ähnlich, wie wenn jener ältere Kristall durch Abgabe einer einzigen seiner Molekeln einem neuen gleichartigen Kristall das Leben gegeben, wie wenn er sich fortgepflanzt hätte. Demnach giebt uns auch der Vorgang der Fortpflanzung noch nicht die gesuchten sicheren Unterscheidungsmerkmale.

Ein Stoffwechsel scheint aber bei anorganischen Körpern nicht vorhanden zu sein. Allein was ist die Annäherung einer Molekel oder eines Molekelaggregates der Lösung an die Oberfläche des Kristalls, die Aufnahme bz. Assimilation einer den Kristallmolekeln gleichartigen Molekel durch die Kristalloberfläche und das nachherige Wegfliessen der frei gewordenen Molekel des Lösungsmittels anderes als ein Stoffwechsel? Wir haben überdies die wichtigsten Vorgänge, welche früher als spezifische Eigentümlichkeiten des organischen Lebens betrachtet worden sind, den Kampf ums Dasein, die Selektion, die Anpassung, schon bei den einfachen, besonders aber bei komplizierteren Molekeln angetroffen, und diese können wir doch nicht als organisierte Wesen ansprechen. Geht aber aus einer einzelnen Molekel[1]), welche sich von einem Kristall abgelöst hat, wiederum ein gleichartiger Kristall hervor, so vererben sich durch diese Molekel die Eigenschaften des älteren Kristalls auf einen jüngeren. Mit der Fortpflanzung hält auch die Vererbung Schritt, sie ist schon bei unorganischen Körpern zu finden.

Zu ähnlichen Resultaten kommen wir, wenn wir die übrigen im vorigen Kapitel behandelten Eigenschaften und Vorgänge an

---

[1]) Statt einer Molekel ist in der Regel mindestens ein Molekelpaar nötig, wenn es sich um Kristalle einer polymorphen Substanz handelt.

uns vorübergehen lassen. Nirgends finden wir durchgreifende Unterscheidungsmerkmale. Fast hat es den Anschein, als seien wir geneigt, solche Vorgänge als Lebensvorgänge zu bezeichnen, bei welchen das wesentliche noch nicht klar vor unseren Augen liegt. Haben doch in diesem Sinne unsere ältesten Vorfahren die ihnen völlig unverständlichen Naturvorgänge personifiziert und sich höhere Wesen, Gottheiten daraus gemacht, welche in den bt. Erscheinungen zu ihnen sprechen sollten! Wie steht es denn in dieser Beziehung jetzt noch mit Wilden, welche zum erstenmal in ihrem Leben Blitz und Donner aus dem Gewehr eines ihnen neu erschienenen Europäers herauskommen sehen? Wird nicht ein kleines unerfahrenes Kind die tickende Uhr anfänglich für ein selbständiges lebendes Wesen halten? Was bedeutet die heranbrausende schnaubende und rauchende Lokomotive mit ihren beweglichen Triebstangen für das scheue Pferd anderes als etwa ein höheres Wesen? Und glaubt nicht die Ameise, vor welche ein verdorrtes Blatt vom Baume herunterfällt, im ersten Augenblicke, sie werde von einem lebenden Wesen angegriffen? Sofort stellt sie sich zur Wehr, bis sie die Gefahrlosigkeit ihrer Lage erkennt.

Oder finden wir vielleicht späterhin noch andere für die organische Welt charakteristische Eigenschaften und Vorgänge? Sind insbesondere seelische Prozesse bei allen Lebewesen in geringerem oder höherem Grade anzutreffen und nur bei ihnen? Auf diese Frage können wir erst am Schlusse unserer Entwicklungen die entscheidende Antwort geben, wenn wir einen tieferen Einblick in das organische Getriebe erhalten haben. Unterziehen wir also die sichtbaren Lebewesen mit ihren Organen und kleinsten Teilchen einer eingehenden Untersuchung, ohne vorerst auf seelische Vorgänge, welche in einem späteren Abschnitt besonders behandelt werden, Rücksicht zu nehmen.

A. Die Zelle und ihre Bestandteile.

Die einfachsten uns bekannten und die kleinsten eben noch mit Mikroskopen sichtbaren selbständigen Lebewesen hält man für einzelne Zellen. Höher entwickelte Lebewesen bestehen aus vielen Zellen; sie werden als Zellenstöcke, Zellenstaaten bezeichnet. Ihre Elementarteile, die Zellen, spielen in denselben die wichtigste Rolle. Jedes Ei wird in seinem Anfangsstadium

als einzelne Zelle aufgefasst, aus welcher sich durch Zellenvermehrung allmählich der ganze Zellenstaat entwickelt. Wegen dieser überaus umfassenden und elementaren Bedeutung der

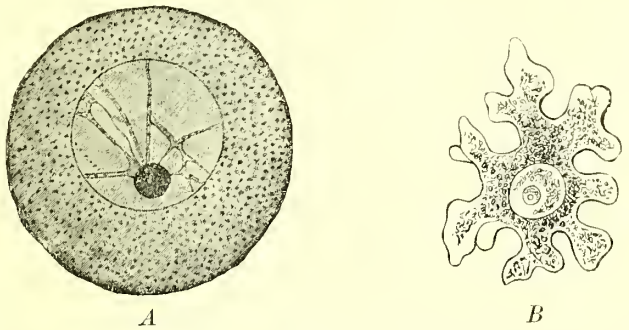


Fig. 67.

A. Runde Eizelle eines Seeigels. Nach Hertwig.

B. Amöboide Eizelle eines Kalkschwammes. Nach Haeckel.

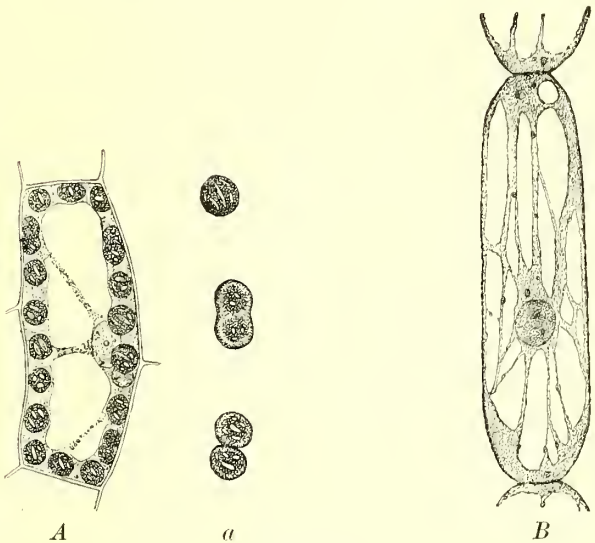


Fig. 68.

A. Eine Pflanzenzelle mit Chlorophyllkörpern. a. Ein Chlorophyllkörper in Teilung begriffen. Nach Sachs.

B. Pflanzenzelle aus einem Staubfadenhaar von Tradescantia. Nach Strasburger.

Zellen wollen wir dieselben in erster Linie näher ins Auge fassen. Zellenstaaten finden wir sowohl im Pflanzenreich, als auch im Tierreich überall verbreitet; meistens können wir dieselben leicht in das eine oder in das andere Reich einordnen.

Bei einzelligen selbständig lebenden Wesen versagen aber oft die für diese Einteilung üblichen Unterscheidungsmerkmale. Man

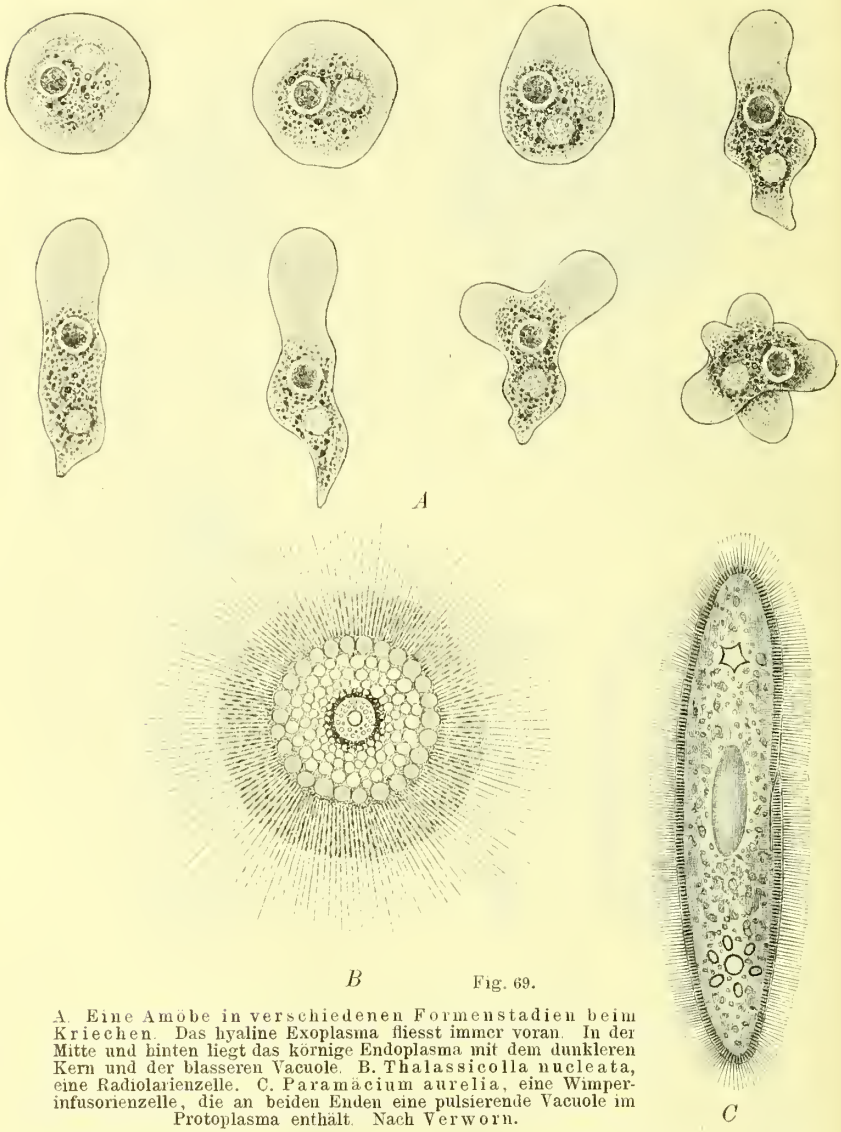


Fig. 69.

A. Eine Amöbe in verschiedenen Formenstadien beim Kriechen. Das hyaline Exoplasma fliesst immer voran. In der Mitte und hinten liegt das körnige Endoplasma mit dem dunkleren Kern und der blasseren Vacuole. B. Thalassicolla nucleata, eine Radiolarienzelle. C. Paramäcium aurelia, eine Wimperinfusorienzelle, die an beiden Enden eine pulsierende Vacuole im Protoplasma enthält. Nach Verworn.

hat deshalb die einfachsten einzelligen Lebewesen in ein eigenes Reich, in das Protistenreich, zusammengefasst. Indessen ist auch

zwischen diesem Reich und jenen beiden Reichen eine strenge Unterscheidung nicht möglich gewesen.

In nebenstehenden Figuren sind einige solche Zellen abgebildet, in Fig. 67 zwei Eizellen, in Fig. 68 zwei Pflanzenzellen, in Fig. 69 drei Protisten. Alle diese Zellen sind eingehüllt von je einer Membran. Wir erkennen eine solche besonders leicht an Pflanzenzellen, überhaupt fast an allen Zellen, welche höher entwickelten, aus mehr als einer Zelle bestehenden Lebewesen angehören. Allerdings hat man — hauptsächlich im Protistenreich — Individuen aufgefunden, an denen auch mit den besten Mikroskopen keine Membranen nachgewiesen werden konnten, und daraus haben viele Forscher geschlossen, die Membran sei kein wesentlicher Bestandteil der Zelle [1]). Wir haben aber im vorigen Kapitel gesehen, dass es mindestens noch 500mal dünnere Membranen giebt, als diejenigen sind, welche wir eben noch im Querschnitt mit dem Mikroskop sehen können (S. 82). Wenn wir also eine solche Membran bei einzelnen Individuen nicht zu erkennen vermögen, so ist damit noch kein Beweis dafür erbracht, dass dieselben überhaupt von keiner Membran eingehüllt seien.

Die aus Fistellen bestehende Membran bietet ihrer Zelle den grossen Vorteil des erleichterten Stoffwechsels. Die Membran ist durchlässig und zwar nur für gewisse Stoffe, selbstverständlich im allgemeinen für diejenigen Stoffe, welche die Zelle erhalten; denn wäre das Gegenteil der Fall, so würde die Zelle im Kampf ums Dasein unterliegen gegen andere günstiger gestaltete, günstiger aufgebaute Zellen. In einer Zelle, welche ringsum von unmittelbar einander anliegenden, fest miteinander verbundenen Molekeln, also von einem festen Körper eingehüllt wäre, ohne irgendwelche Hohlräume, ohne feinste Kanäle zwischen seinen Molekeln, würde der Stoffwechsel mit der Aussenwelt ungemein erschwert sein. Anders wäre es allerdings in Zellen, welche nur aus Flüssigkeiten beständen und welche in einer sie unmittelbar umgebenden Nahrungsflüssigkeit sich befänden; in solchen Zellen würde ein Stoffwechsel gleichfalls leicht zu stande kommen, auch dann, wenn sie von gar keiner Membran eingehüllt wären. Indessen können die scheinbar membranlosen

[1]) Vgl. die Litteraturangaben am Schlusse des Kapitels.

Zellen nicht solche flüssige Zellen sein. Denn es machen beispielsweise die Bewegungen der Amöben (Fig. 69 A), an welchen keine Membranen sichtbar sind, gar nicht den Eindruck, den eine strömende Flüssigkeitsmenge auf uns machen würde. Freilich kann ein Individuum zeitweise oder stellenweise von einer Flüssigkeit eingehüllt sein, zb. von einer von ihm selber ausgeschwitzten Flüssigkeit. In diesem Falle lagert aber die Flüssigkeit auf einem innen befindlichen festen, aus Fistellen bestehenden Gerüst, welches dann die Rolle der durchlässigen, dem Stoffwechsel zwischen innen und aussen dienenden Membran spielt. Wäre endlich die Zelle umgeben von einem dicken, nur aus Fistellen aufgebauten Körper, so würde eben dieser Körper im Prinzip nichts anderes sein, als eine durchlässige Membran. Wir kommen demnach zu dem Schlusse, die eine Zelle ringsum abgrenzende, aus Fistellen zusammengesetzte, die durchlässige, quellungsfähige bz. kontraktile Membran sei ein durchaus wesentlicher Bestandteil der Zelle.

Die Zellmembran umhüllt in allen uns bekannten Zellen ein ganzes Gemenge verschiedener Substanzen, unter denen in der Regel ein Körper besonders bemerkbar ist (Fig. 67—69), der Zellkern, welcher selber wieder durch eine eigene Fistellenmembran gegen den übrigen Zellinhalt abgegrenzt sein wird. Denn diese Kernmembran erleichtert den Stoffwechsel des Kerns zwischen innen und aussen. Ausserhalb des Kerns wird in der Zelle eine schleimige, dickflüssige Masse nachgewiesen, die wir in ihrer Gesamtheit als Protoplasma bezeichnen; das Protoplasma ist kein einfacher Körper, weder chemisch (seinem Atomaufbau nach), noch morphologisch (seiner Gestaltung nach), vielmehr ein Gemenge von solchen Körpern. Die von geformten Kern- und Protoplasmasubstanzen nicht in Anspruch genommenen Räume der Zelle werden von einer dünnflüssigen Substanz, der Zellflüssigkeit, dem Zellsaft erfüllt.

Moneren.

Zellkern, Protoplasma und Zellsaft werden gegenwärtig wohl ziemlich allgemein als wesentliche Bestandteile der Zellen aufgefasst. Darüber, ob der Kern ein durchaus notwendiger Bestandteil der Zelle sei, ist aber lange gestritten worden. Es hat E. Haeckel eine grössere Zahl einfacher Protisten, welche

er für nichts anderes als für Klümpchen Protoplasma hielt, ohne Kern, als Moneren bezeichnet. Er glaubte, in ihnen die einfachsten Lebewesen vor sich zu haben, welche es überhaupt geben könne. Nun gelang es aber, bei den stetigen Fortschritten der wissenschaftlichen Technik, in einem dieser kleinen Lebewesen nach dem anderen einen Zellkern nachzuweisen; manchmal entdeckte man statt eines grösseren Kernes mehrere kleinere Kerne, gelegentlich sogar eine grosse Zahl derselben. Ganz besonders mittels der neueren Färbemethoden war man immer mehr im stande nachzuweisen, dass in diesen und jenen Moneren Haeckels gleichfalls Kerne vorhanden seien. Man wurde also zu der Vermutung geführt, dass doch vielleicht alle Zellen Kerne haben. Damit stehen die interessanten Versuche von Klebs in Uebereinstimmung, welcher bei Zellen von Spirogyrafäden gefunden hat, dass abgetrennte Protoplasmastückchen ohne Kernsubstanz zwar noch Stärke umsetzen können, wenn sie Chlorophyll enthalten, dass sie aber auf die Dauer nicht lebensfähig bleiben, trotzdem er sie zuweilen noch mehrere Wochen lang am Leben zu erhalten vermochte. Obwohl hie und da abgetrennte Protoplasmastückchen, zb. kernlose Pseudopodien von Difflugien, nach Verworn, sogar noch sich fortzubewegen im stande sind, haben sie doch die Fähigkeit zu wachsen, zu einem vollständigen Organismus sich auszubilden und sich fortzupflanzen, verloren. Das Leben scheint also durchaus an die Kernsubstanz gebunden zu sein.

Doch dürfen wir andererseits nicht übersehen, was die chemischen Färbemethoden, welche uns manchmal die Kerne erst sichtbar machen, für einen Organismus eigentlich bedeuten. Wir setzen dem Lebewesen eine chemisch wirksame färbende Substanz zu, durch welche dasselbe meistens getötet wird. Ist es nun nicht wahrscheinlich, ja sogar gewiss, dass durch diese chemische Wirkung, welche ja als solche die Molekularkonstitution verändert, auch die lebende Substanz selber stark verändert wird? Würde sie nicht geändert, so hätte die Färbung keinen Erfolg. Denn auch in dem Falle, dass das lebende Wesen, dass die lebende Substanz durch das Färbemittel nicht abgetötet wird, muss diese Substanz dadurch doch eine Veränderung erfahren. Wenn nun bei den von uns im vorigen Kapitel behandelten Gebilden aller Art nur eine einzige der in ihnen vorhandenen

Substanzen sich ändert, so ändern sich im allgemeinen auch die übrigen. Aendern wir die im bt. Gebilde befindlichen Flüssigkeitsmolekeln, so erleiden die Fistellen, die aus diesen bestehenden Membranen, welche mit der Flüssigkeit in Berührung sind, eine Aenderung (S. 59); zb. sie quellen auf, oder sie kontrahieren sich. Wird die Konstitution der Fistellenmolekeln selber geändert, so beeinflussen diese hinwiederum die mit ihnen in Berührung befindlichen Flüssigkeitsmolekeln. Sind in komplizierteren Fällen innerhalb der Membran mehrere verschiedenartige Substanzen vorhanden und wird die eine von ihnen etwa durch Einführung eines fremden, chemisch wirkenden Stoffes verändert, so zieht diese Aenderung auch eine Aenderung der übrigen im Gebilde befindlichen Substanzen nach sich. Denn diese Substanzen stehen, wie wir früher gezeigt haben (S. 76), in einem bestimmten Gegenseitigkeitsverhältnisse zu einander, in demjenigen der Resonanz für die Hauptschwingungszustände ihrer Aetherhüllen, wenn ein Gleichgewichtszustand unter ihnen möglich sein soll. Ist dieses Gegenseitigkeitsverhältnis nicht erreicht, wurde zb. durch jene äusseren (chemischen) Einwirkungen ein anderes solches Verhältnis hergestellt, so streben die Substanzen nach demselben neuen Gleichgewichtszustand hin, bis sie ihn erreicht haben, und bis zu diesem Zeitpunkte verändern sie sich fortwährend (S. 105).

Wird also ein Lebewesen mit chemischen Substanzen gefärbt, so kann es sich in solch durchgreifender Weise verändern, dass eine Neuanordnung von Substanzen in demselben entsteht, dass sogar ganz neue, wahrnehmbare Substanzen in ihm gebildet werden, und solche Substanzen wird man leicht als Kernsubstanzen auffassen, wenn sie auch vor der Einführung des Färbemittels gar nicht existiert haben. Noch leichter gelangt man zu dieser Auffassung, wenn chemische Reaktionen solcher neuer Substanzen gleich denjenigen wirklicher Kernsubstanzen sind. Das Vorhandensein eines wirklichen Kerns in einer Zelle ist aber, wie mir scheint, nur dann als erwiesen zu betrachten, erstens wenn man denselben ohne jede chemische Einwirkung erkennen kann, oder zweitens, wenn die Zelle trotz der Färbung, welche den Kern erst sichtbar macht, ihren Lebensprozess ganz gleich wie zuvor weiterführen kann, oder drittens, wenn mehrere ganz verschiedenartige Färbemethoden einen gleich grossen und gleich

gestalteten Kern erkennen lassen. Vielfach mag geglaubt werden, der Tod erfolge bei diesen chemischen Färbemethoden so rasch, dass die lebende Substanz inzwischen gar nicht mehr sich zu verändern im stande sei. Allein wodurch erfolgt der Tod, wenn nicht durch eine chemische Veränderung der lebenden Substanz? Und welcher Lebensvorgang, das Absterben inbegriffen, ist schneller als der schnellste chemische Vorgang?

Im übrigen ist es reine Definitionssache, ob wir den Kern als wesentlichen Bestandteil der Zelle auffassen wollen oder nicht. Ganz gewiss hat Haeckel recht, wenn er behauptet, ein zellenartiges Lebewesen ohne Kern sei denkbar, es müssen solche einfachsten Gebilde, die Moneren, entweder noch jetzt in der Natur bestehen oder doch, als Vorfahren unserer jetzigen Generationen, einmal bestanden haben, und es müssen dieselben durch Urzeugung entstanden sein. In unseren Entwicklungen des vorigen Kapitels sind wir zu der Erkenntnis gelangt, dass solche Gebilde als Bläschen, Körnchen, Röhrchen, Fibrillen, Gastrulen, sowie als komplizierteste Verbindungen derselben aus einfachen Molekeln sich zusammenbauen mussten. Ich vermag nun keinen Grund einzusehen, weshalb nicht solche Gebilde auch jetzt noch fortwährend da und dort unter passenden Verhältnissen neu entstehen könnten. Bildet sich durch Zufall eine einzige Molekel von derjenigen bestimmten Atomzusammenlagerung, welche zu der Fistellenbildung Veranlassung giebt, so geht aus ihr, wenn sie in entsprechender Nahrungsflüssigkeit sich befindet, die Fistelle hervor, aus dieser die Membran, aus der Membran eines jener Gebilde. Das Gebilde entwickelt sich also in diesem Falle spontan, durch Urzeugung. Viel leichter und häufiger kommt allerdings ein solches Gebilde zu stande auf dem Wege der Fortpflanzung. Entweder entsteht dadurch, dass sich von einem fertigen Gebilde dieser Art eine soeben durch Assimilation neu gebildete Fistelle oder sogar nur eine Molekel dieser Fistelle abgelöst hat, infolge weiterer Assimilation derselben ein dem Muttergebilde ähnliches Gebilde (S. 104). Es ist dies die einfachste Art der Zeugung, speziell der Zeugung eines Tochtergebildes aus nur einem Muttergebilde (Parthenogenesis). Oder es pflanzt sich das Gebilde fort durch äquale Teilung oder durch Knospung (S. 100, 101). Je komplizierter das Gebilde ist, um so seltener, um so unwahrscheinlicher wird für dasselbe der

Vorgang der Urzeugung, um so wahrscheinlicher der Vorgang der Fortpflanzung durch Teilung, durch Knospung, durch Zeugung.

Diejenigen Gebilde, welche in ihrem Inneren noch nicht so mannigfach differenzierte Substanzen aufweisen, dass wir einen Kern in ihnen anerkennen wollen, dürfen wir im Sinne von Haeckel als „Moneren" bezeichnen. Definieren wir dann die Zelle dadurch, dass sie einen Kern als wesentlichen Bestandteil enthalten müsse, so fallen eben jene von uns unter Moneren zusammengefassten Gebilde nicht mehr in den Bereich der Zelle, sie sind in Beziehung auf ihre Zusammensetzung einfachere Gebilde als die Zellen. Dessenungeachtet können sie ihrer Gestalt nach vermöge ihres Aufbaus aus Fistellen ungemein kompliziert sein. Sie können, wie die Gebilde unseres vorigen Kapitels, einzelne Geisseln (Fig. 43 S. 86), zahlreiche Wimpern oder Pseudopodien (Fig. 48 S. 89) besitzen, wenn sie auch so klein sind, dass wir sie niemals durch das Mikroskop sehen werden.

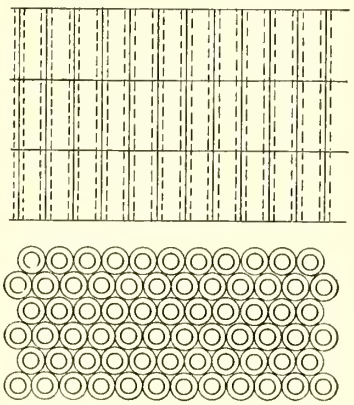
Aufbau der Zellteile.

Wir unterziehen die genannten wesentlichen Bestandteile der Zellen einer eingehenden Betrachtung, einer Untersuchung ihrer Zusammensetzung, ihres Aufbaus. Dabei haben wir nun alle diejenigen Gebilde zu unserer Verfügung, welche wir im vorigen Kapitel aus Molekeln auf mechanischem Wege abgeleitet haben, insbesondere alle Fistellengebilde. Aus solchen Gebilden müssen alle Zellbestandteile, soweit sie nicht gewöhnliche gasförmige, flüssige oder feste Körper sind, aufgebaut sein; demnach bestehen sie aus Membranen, Bläschen, Körnchen, Röhrchen, Fibrillen, Gastrulen usf. In diesen Gebilden kämpfen alle Molekeln, alle Fistellen fortwährend ihren Kampf ums Dasein. Die beständigsten, stabilsten unter ihnen, diejenigen, welche den äusseren Bedingungen am besten sich anpassen konnten, bleiben siegreich in diesem Kampfe; sie allein assimilieren auf die Dauer, sie pflanzen sich fort. Die Gebilde wachsen durch Vermehrung solcher passender Molekeln und Fistellen. Zwischen den einzelnen Substanzen der Gebilde besteht dabei ein gewisses Gegenseitigkeitsverhältnis und eine Art Gleichgewichtszustand, welchem dieselben fortgesetzt, auch während des Wachstums, entgegenstreben (S. 128). Die ganzen

Gebilde selber führen gleichfalls den Kampf ums Dasein miteinander. Dabei können verschiedenartige Gebilde sich miteinander vertragen, wenn ihre Bedürfnisse, namentlich ihre Nahrungsbedürfnisse derartige sind, dass sie einander nicht stören. Ja sie können sogar gegenseitig sich unterstützen. Die Ausscheidungsprodukte des Stoffwechsels des einen Gebildes können dem anderen Gebilde zur Nahrung dienen. Am heftigsten wird dagegen der Kampf ums Dasein entbrennen zwischen den Gebilden gleicher Art, welche gleicher Nahrung bedürfen, wenn nämlich die Nahrung nicht im Uebermasse vorhanden ist. In diesem Kampfe bleiben diejenigen Gebilde Sieger, welche am leichtesten die Nahrung an sich zu reissen, in ihre eigenen Substanzen umzuwandeln, welche am längsten sich zu erhalten, am besten sich fortzupflanzen vermögen. Es siegen kurz gesagt diejenigen Gebilde, welche die lebensfähigsten sind, welche sich ihrer Umgebung, den äusseren Verhältnissen am besten anpassen können. Unter den Gebilden gleicher Art findet wiederum eine Selektion des Zweckmässigen statt im Kampf ums Dasein.

Einfache Zellmembran.

Zuerst untersuchen wir die Zellmembran. Die aus einer einzigen, einfachen Fistellenschichte bestehende Membran hat nur eine Dicke von der Grössenordnung eines Millionstel-Millimeters (S. 81). Eine so dünne Zellmembran wird aber wachsen, nicht nur der Fläche nach durch Intussusception, sondern auch der Dicke nach durch Apposition (S. 97). Bei der Apposition legt sich Schichte so auf Schichte, dass die Fistellenhohlräume aufeinander passen (Fig. 70), dass sie kontinuierliche Röhrchen bilden, welche den Stoffwechsel zwischen dem Zellinneren und dem Aussenraume vermitteln (S. 58). Je mehr nun die Dicke der Zellmembran zunimmt, um so mehr wird dieser Stoffwechsel erschwert. Denn je länger jene ans den Fistellenhohl-



A

Fig. 70.

räumen gebildeten Röhrchen werden, um so grösser wird die Reibung, welche Flüssigkeitsmolekeln und Atomgruppen bei ihrem Hindurchtreten durch dieselben erfahren. Es gereicht demnach der ganzen Zelle in Beziehung auf ihren Stoffwechsel nicht zum Vorteil, ihre aus solchen Fistellenschichten bestehende Zellmembran immer dicker und dicker werden zu lassen; vielmehr leidet ihr Stoffwechsel unter einer solchen Dickenzunahme. Die entsprechenden Folgen werden nicht ausbleiben. Die Fistellen, welche durch Apposition die Membran an einer einzelnen Stelle zu sehr verdickt haben, vermindern an dieser Stelle den Stoffwechsel. Sie und ihre Nachbarn erhalten deshalb von nun an weniger Nahrung, sie müssen stärker um ihr Dasein kämpfen als zuvor. In diesem Kampfe unterliegt ein Teil von ihnen, diejenigen nämlich, welche sich am wenigsten leicht regenerieren können durch Anlagerung neuer Atome, wenn ihnen von ihren Nachbarn bei ihren Zusammenstössen mit denselben zufällig solche entrissen worden sind. Es unterliegen also im allgemeinen diejenigen Fistellen, welche von der Nahrungszufuhr am meisten abgeschnitten sind. Erhält die Zelle ihre Nahrung von aussen, so unterliegen im Kampfe diejenigen Fistellen, welche die innere Seite der Zellmembran bilden. An der äusseren Seite der Zellmembran können dagegen, vermöge der Nahrungszufuhr, leicht neue Fistellen entstehen und die Membran vergrössern bz. verdicken. Wenn sodann an der inneren Seite der Membran ebensoviele Fistellen zerfallen, zerstört werden, als sich an ihrer Aussenseite in der Dickenrichtung anlagern, so wird die Dicke der Zellmembran sich nicht mehr weiter vergrössern.

Es kann indessen Fälle geben, in welchen doch ein so starkes Dickenwachstum der Zellmembran erfolgt, dass der Stoffwechsel der Zelle mit ihrer Umgebung durch sie hindurch immer mehr erschwert und zuletzt fast unmöglich gemacht wird. Dann muss aber der bt. Organismus dadurch einen Vorteil erlangt haben im Kampf ums Dasein, den er mit anderen Organismen führt. Dieser Fall tritt in der That ein, zb. bei Dauersporen, bei Samen und Eiern, welche auch ohne merklichen Stoffwechsel mehr oder weniger lange Zeit ohne Zerfall bestehen bleiben. Derartige Zellen sind nämlich im Vorteil, anderen Zellen mit dünneren Membranen gegenüber, wenn sie zu gewissen Zeiten vorübergehend in Umgebungen geraten, in welchen

ein Stoffwechsel überhaupt kaum oder gar nicht mehr möglich ist. Sie überdauern dann die ungünstige Periode, weil sie sich dem langsameren Stoffwechsel angepasst haben. Gelangen solche Dauerzellen später wieder in Umgebungen, welche erneuten raschen Stoffwechsel erlauben, so müssen ihre zu dick gewordenen Membranen — etwa durch Quellung des eingeschlossenen Zellteils — gesprengt werden oder sonst zerfallen, soll neues kräftiges Wachstum eingeleitet werden. Nur solche Dauerzellen überdauern wirklich die Periode unmöglichen Stoffwechsels mit Erfolg, erhalten sich und ihre Art, pflanzen sich fort; alle anderen diese Bedingung nicht erfüllenden Zellen gleicher Art unterliegen im Kampf ums Dasein. Umgekehrt unterliegen aber auch diejenigen Zellen, deren Membranen fortwährend in die Dicke zu wachsen bestrebt sind, ohne dass jene jemals in den Fall kämen, entsprechend ungünstige Perioden überdauern zu müssen. Sie unterliegen im Kampf ums Dasein gegen solche Zellen, deren Membrandicke über eine gewisse günstigste Grenze nicht hinausgeht, weil die letzteren fortwährend den günstigeren Stoffwechsel unterhalten.

Zellen mit diesen immer noch ungemein dünnen, uns niemals unmittelbar sichtbaren Zellmembranen werden nur dann bei genügender Lebensfähigkeit eine beträchtliche Grösse erreichen, uns also sichtbar werden, wenn die innerhalb ihrer Membran befindlichen Zellsubstanzen selber wesentlich zur äusseren Zellform beitragen. Denn wäre zb. die innerhalb solch einer ungemein dünnen Membran befindliche Zellsubstanz leichtflüssig und mit der die Zelle umgebenden Flüssigkeit mischbar, so würde ein zufälliges Zerreissen der dünnen Zellmembran dem flüssigen Inhalt der Zelle den Austritt in die umgebende Flüssigkeit gestatten. Eine solche Zelle würde daher abnehmen können, statt zu wachsen; sie wäre weniger lebensfähig, als andere Zellen mit stärkeren Membranen. Sie würde, über ein gewisses Maximum hinausgewachsen, zerfallen oder von selbst wieder klein werden, im Kampf mit anderen kräftiger gebauten Gebilden. Eine Zelle mit solch einer dünnen Fistellenmembran und mit nur leichtflüssigem Zellinhalt wird also eine gewisse geringe Grösse in der Regel nicht überschreiten.

Doppelte Zellmembran.

Nur dann können Zellen, deren Inhalt selber nicht wesentlich gestaltend wirkt, relativ sehr gross werden, wenn ihre Zellmembranen eine bedeutendere Dicke und Steifigkeit erlangen, ohne dass deswegen der Stoffwechsel beeinträchtigt wird. Wir werden zeigen, dass die Natur auch diese Bedingung ohne Schwierigkeit zu erfüllen im stande ist.

Eine Zellmembran bestehe aus mehreren durch Apposition übereinander gelagerten Fistellenschichten. die Achsen der Fistellenhohlräume nach der Membrandicke gerichtet und jeweilen miteinander zusammenfallend, so dass die Membran durchlässig ist, wie bis dahin öfters beschrieben wurde (Fig. 70). Die Membran sei so lange in die Dicke gewachsen, bis der Stoffwechsel der Zelle unter noch stärkerem Dickenwachstum merklich zu leiden anfangen würde. Die so gebildete Zelle wächst, wie wir gesehen haben, bis zu einer gewissen, bis zu ihrer eben noch lebensfähigen Grösse aus; dann hört ihr Wachstum auf. Durch ihre Fortpflanzung wird sie zur Erhaltung ihrer Art beitragen. Nun entstehen aber unter günstigen Umständen im Innenraume der Zelle, an der Innenfläche der Zellmembran neue Molekelarten, welche mit den übrigen Zellsubstanzen in dem mehr erwähnten günstigen Gegenseitigkeitsverhältnisse der Resonanz stehen. Unter diesen neu entstehenden Molekelarten kann eine durch passende Querschnitte dazu befähigt sein, Fistellen zu bilden (Fig. 35 S. 69), aus welchen durch Nebeneinanderlagerung cylindrische Membranen, Röhrchen hervorgehen. Eine Zelle, welche in ihrem Inneren solche Fistellen erzeugt, ist im Vorteil, anderen sonst gleichartigen Zellen gegenüber, in Bezug auf ihr Wachstum in die Grösse. Denn aus diesen Fistellen setzen sich in vorteilhafter Weise Röhrchen zusammen, dadurch, dass sich Fistelle an Fistelle, dem zugehörigen Krümmungsradius R entsprechend, tangential an die ursprüngliche Zellmembran a anlegt (Fig. 71 A). Solche Röhrchen, welche zu ganzen Röhrchenschichten b sich zusammenlagern, versteifen die Membran a, und sie können die Gesamtmembran (a + b) fast bis auf eine beliebige endliche Dicke anwachsen lassen, wenn sie mit ihren Achsen parallel den Fistellenachsen der ursprünglichen Membran a auf dieser letzteren angelagert worden sind, wie in der

Figur angenommen wurde. Ist nämlich ihr Radius R (Fig. 71 B Grundriss von A) beträchtlich grösser als derjenige der Hohlräume der überaus kleinen Membranfistellen von a, so beeinträchtigen diese Röhrchen den Stoffwechsel der Zelle nicht merklich. Der Durchmesser dieser Röhrchen muss aber schon 500mal grösser werden, als etwa ein Fistellendurchmesser, wenn wir dieselben mit unseren Mikroskopen wahrzunehmen im stande sein sollen.

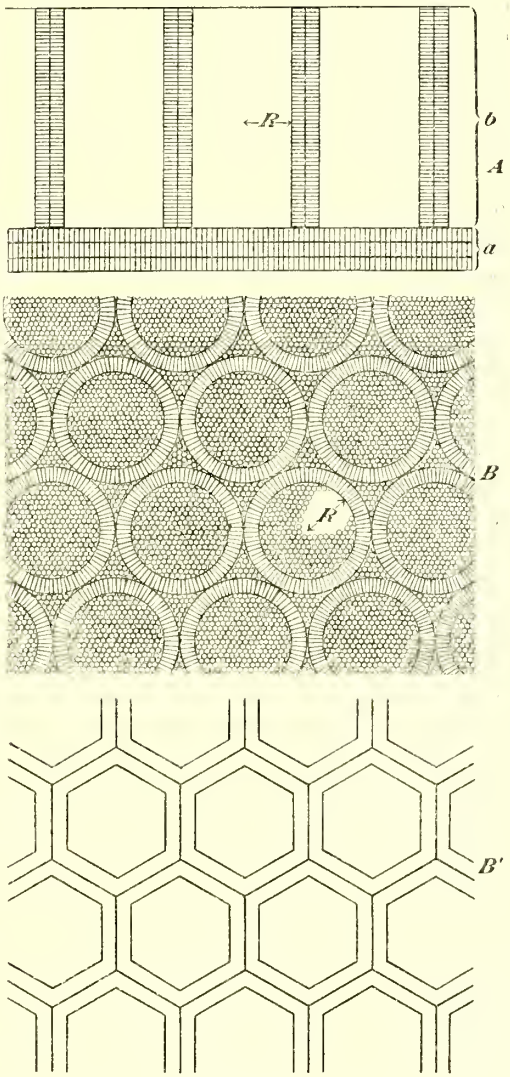


Fig. 71.

Eine Membran, welche in dieser Weise aus zwei Schichten besteht, aussen nur aus den Fistellen in geringer Schichtdicke a (Fig. 71 A), innen aus weiteren Röhrchen in dickerer Schicht b, hat ungefähr den gleichen Vorteil, in hohem Grade durchlässig zu sein, wie die dünne Fistellenmembran a allein, besonders wenn der Röhrchenradius R verhältnismässig ein grosser ist. Allerdings werden durch die Querschnitte der Röhrchenwandungen manche Fistellen der Schicht a verdeckt; aber dafür ist die Reibung der Flüssigkeiten in den weiten Röhrchen der Schicht b eine unvergleichlich geringere als in den sehr engen

Fistellenkanälen der Schicht a. Eine solche Doppelmembran A ist aber äusseren mechanischen Einwirkungen gegenüber weit widerstandsfähiger, als die einfache Fistellenmembran a ohne Röhrchen. Erhält sie von aussen einen kräftigen Stoss, so wird sie doch nicht ohne weiteres durchschlagen. Sie kann sich vielmehr deformieren; denn die cylindrischen Röhrchen und ihre Fistellen selber sind alle deformierbar. Bekommt dabei die äussere Fistellenmembran a, welche dünn und leicht verletzlich ist, einen Riss, so hält die Röhrchenschicht b die ganze Membran noch zusammen, und durch neu assimilierte Membranfistellen in a wird die Rissstelle wieder ausgeheilt. Besonders haltbar wird eine Membran, deren Röhrchen sich so aneinandergelagert haben, dass ihre Querschnitte fest ineinandergefügt sind, etwa wie Sechsecke (Fig. 71 B′).

Wenn eine Zelle an der Innenfläche ihrer Zellmembran Fistellen entwickelt, welche diese hier gezeichneten Röhrchen zur Versteifung der Membran entstehen lassen, so ist sie im Vorteil einer anderen im übrigen ganz gleichartigen Zelle gegenüber, welche diese widerstandsfähigere Membran nicht besitzt. Im Kampfe gegen äussere Einflüsse und im Kampf ums Dasein der Zellen untereinander wird die Zelle mit der stärkeren Membran die anderen Zellen überleben. Jene wird sich länger fortpflanzen, und wenn zwei Zellen am gleichen Orte sich aufhalten, die gleiche Nahrung brauchen, so wird die stärkere sich immer stärker vermehren als die schwächere. Zuletzt bleiben, wenn die Nahrung spärlich wird, die stärkeren Zellen allein übrig, die schwächeren sterben aus. In dieser Weise entstehen also Zellen mit verstärkten, gleichsam mit gerippten Doppelmembranen, welche äusseren Unbilden gegenüber sehr widerstandsfähig sind.

Wie bei den übrigen bisher behandelten Gebilden verschiedenartige Teile erzeugt werden, so entsteht auch hier diese innere Röhrchenschicht b (Fig. 71) der Zellmembran nicht etwa nur dann, wenn die äussere Fistellenmembran a fortwährend neue Fistellen der inneren Röhrchenschicht b erzeugt, sondern schon dann, wenn nur eine einzige Fistelle dieser letzteren Art oder gar nur eine einzige Molekel dieser Röhrchenfistelle ein einziges Mal hervorgebracht worden ist. Der Fall der Erzeugung einer ganz anderen Molekelart kommt leicht zu stande, etwa durch teilweise

Assimilation infolge jenes mehrfach hervorgehobenen Gegenseitigkeitsverhältnisses der Resonanz, in welchem solche Molekeln mit jenen Molekeln der Membranfistellen in a stehen. Für die Folge assimiliert nun die neue Molekel selber, es assimiliert die aus ihr hervorgegangene Röhrchenfistelle. Dadurch entstehen die Röhrchen, es entsteht die ganze Röhrchenschicht, durch eigene Assimilation ihrer eigenen Molekelart. Die dazu nötige Nahrung ist vorhanden, wenn sie nur gleich geblieben ist wie in dem Augenblicke, da sich die erste Fistelle dieser Art an die Fistellenmembran a ansetzte.

Infolge der fortwährenden Assimilation werden die Röhrchen immer länger, die Zellmembran wird immer dicker, bis zu einer gewissen Grenze, welche von verschiedenen Umständen abhängt. Je weiter die Röhrchenhohlräume sind, um so dicker kann die Zellmembran werden, ohne dass der Stoffwechsel der Zelle wesentlich durch dieselbe beeinträchtigt wird; denn die Reibung von Flüssigkeiten in Röhrchen nimmt mit der Weite der letzteren in hohem Grade ab (proportional der 4. Potenz des Radius). Zuletzt erreicht aber die Membran vermöge dieses Wachstums doch eine Dicke, welche nicht mehr überschritten werden kann. Von nun an wird durch weiteres Dickenwachstum der Zellmembran der Stoffwechsel der Zelle an dieser Stelle um so viel verlangsamt, dass sich überhaupt neue Fistellen der Röhrchenschicht b hier fast nicht mehr bilden können. Die Nahrung dieser Fistellen ist nämlich wegen des verminderten Stoffwechsels spärlicher geworden, benachbarte Röhrchenfistellen, benachbarte Molekeln der letzteren kämpfen miteinander um dieselbe. Die eine von diesen Molekeln, welche zufällig, das heisst durch einen der immer wieder von aussen erfolgenden stärkeren Stösse benachbarter Molekeln, eines ihrer Atome verloren hat, sucht ihren Nachbarn ein gleiches Atom zu entreissen. So zerfallen da und dort, wo eben die Nahrung spärlicher geworden ist, Molekeln und ganze Fistellen. Zuletzt zerfallen mehr derselben, als neue assimiliert werden. An einer anderen Stelle aber, an welcher Nahrung noch reichlicher zufliesst, kann umgekehrt der Vorgang des Neuentstehens von Fistellen durch Assimilation überwiegen. Sind die äusseren Verhältnisse an jeder Stelle der Zellmembran genau die gleichen, so reguliert sich demnach die Membrandicke von selbst. Wegen der eben besprochenen Wirkungen der durch

die Membrandicke regulierten Nahrungszufuhr hat nicht nur die äussere Fistellenmembran a (Fig. 71), sondern es hat auch ihre innere Röhrchenschicht b das Bestreben, an jeder Stelle gleich dick zu werden.

Kräftigung der Zellbestandteile durch Funktionierung.

Das Dickenwachstum der Zellmembran ist abhängig von der Art, in welcher sie gebraucht wird, von der Beanspruchung, welcher sie vermöge äusserer Einwirkungen auf die Zelle unterliegt. Eine zu stark beanspruchte Membran zerreisst und sie kann völlig der Zerstörung, dem Zerfall ihrer Fistellen und Molekeln anheimfallen, wenn es ihr nicht gelingt, durch Assimilation entsprechender neuer Molekeln an der Rissstelle eine Heilung zu stande zu bringen. Eine gar nicht beanspruchte Zellmembran würde gar nicht in die Dicke wachsen, weil jedes Dickenwachstum derselben dem Stoffwechsel der Zelle nur nachteilig wäre, denselben verlangsamen würde. Wird dagegen die Zellmembran durch äussere Kräfte mässig beansprucht, ohne dass dabei ihre kleinsten Teilchen, ihre Röhrchen, ihre Fistellen zerreissen, so muss eine solche Membran stärker assimilieren, als wenn sie nicht beansprucht würde. Denn vermöge dieser Beanspruchung derselben durch Druck, Zug, Biegung usf. entsteht Molekularbewegung in der Membran. Die Molekeln, die Atome einer beanspruchten Membran müssen unter sonst gleichen Umständen in stärkerer Bewegung, ihre Aetherhüllen müssen in stärkerem Schwingungszustand sich befinden als diejenigen einer nicht beanspruchten Membran. Die Molekeln jener beanspruchten Membran strahlen also stärkere Aetherwellenbewegungen, stärkeres Eigenlicht aus, sie assimilieren somit stärker, als wenn sie einer Membran angehörten, welche keine Beanspruchungen erfährt, welche nichts zu „arbeiten“ hat. Folglich verstärkt sich eine Membran, welche äusseren Unbilden, wenn sie einen gewissen Betrag (der zur Dissoziation führt) nicht überschreiten, zu widerstehen hat, unter sonst gleichen Verhältnissen mehr als eine nicht in dieser Weise arbeitende Membran.

Dasselbe gilt für jede andere (organische) Substanz, welche arbeitet, welche gewisse Funktionen zu verrichten hat, deren sie fähig ist. Arbeitet sie, so findet in ihren kleinsten Teilchen eine stärkere Molekularbewegung statt, als wenn sie nicht arbeitet.

Die molekularen Aetherhüllen ihrer kleinsten Teilchen strahlen demnach während des Arbeitens stärkere Aetherwellenbewegungen, stärkeres Eigenlicht aus, als wenn die Substanz die ihr eigenen Funktionen nicht verrichten würde. Somit assimilieren ihre Molekeln während des Funktionierens der Substanz in verstärktem Masse. Eine Substanz, welche in den Grenzen ihrer Fähigkeit arbeitet, kräftigt sich selbst durch verstärkte Assimilation vermöge ihrer verstärkten Molekularbewegung.

Dritter biologischer Fundamentalsatz.

Die mechanischen Vorgänge, welche unter den Molekeln zu stande kommen, führen auf einen dritten wichtigen Fundamentalsatz der Biologie: Die Funktion erhöht das Bestreben der Substanz, sich zu vermehren. Funktioniert eine Substanz in den Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit, so werden dadurch ihre kleinsten Teilchen, ihre Molekeln, ihre Atome in stärkere Zuckungen bz. Schwingungen versetzt. Sie strahlen stärkere Eigenschwingungen, stärkeres Eigenlicht aus als ohne solches Arbeiten, und sie assimilieren demzufolge stärker, wenn ihnen die passende Nahrung zur Verfügung steht. Der Satz bleibt anwendbar auf alle Gebilde, welche aus einzelnen Substanzen zusammengesetzt sein können, also auf Organoide und auf ganze Organe, auf einzelne Zellen und auf Zellenstaaten.

Breitlappige Pseudopodien.

Die Röhrchen der Zellmembran wachsen fortwährend durch Ansetzen neuer Fistellen an allen Stellen, an welchen genügend Nahrung vorhanden ist; an anderen Stellen, an welchen solche fehlt, nehmen sie ab, ihre Fistellen zerfallen. Zuletzt, wenn das Dickenwachstum der Zellmembran aufhört, wenn ihre Dicke konstant bleibt, muss in jedem Augenblicke die Anzahl der neu entstehenden Membranfistellen gleich derjenigen der zerfallenden sein. Tritt die Nahrung von aussen durch die Zellmembran in die Zelle ein, so entstehen neue Fistellen der inneren Röhrchenschicht b (Fig. 71), besonders leicht da, wo diese die äussere Fistellenmembran a berührt. An derjenigen Stelle der Zelle, an welcher am meisten Nahrung von aussen in ihr Inneres einströmt, wachsen also die Röhrchen der Röhrchenschicht stärker nach aussen als an anderen Stellen. Sie drängen die äussere

sehr dünne und geringen Widerstand bietende Fistellenmembran a, welche durch Intussusception leicht neue mit den ihrigen gleichartige Fistellen aufnimmt, vor sich her, mehr und mehr. Es entsteht ein breitlappiges Pseudopodium, welches gegen die Nahrung hin wächst, welches Nahrung zu „fangen" sucht, indem es sich derselben immer mehr nähert, bis zu schliesslicher Berührung. In solcher Weise beginnt eine amöboide Bewegung in der Richtung gegen die Nahrung hin, wie sie etwa in Figur 69 A (S. 124) in acht aufeinanderfolgenden Formenstadien dargestellt ist. Der weitere Verlauf der Oberflächenänderungen und die völlige Ausbildung der Pseudopodien hängt ausserdem noch ab von Flüssigkeitsströmungen und von anderen Umbildungen, welche im Inneren der Zelle zu stande kommen.

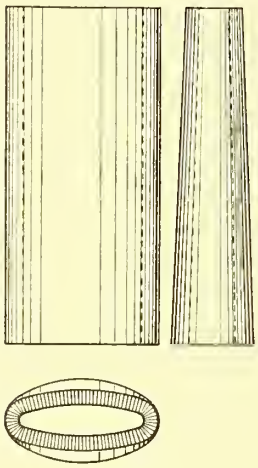


Fig. 72.

Je nach der Art der Zelle kann die Aufnahme der von ihr gefangenen Nahrung verschieden sein. Das Pseudopodium kann sich eng an einen Nahrungskörper anlegen und die Nahrung sodann durch Osmose in sich aufnehmen, gewissermassen aufsaugen. Oder durch massenhafte Fistellenneubildungen infolge der überaus reichlichen Nahrung kann zuerst die äussere Fistellenmembran a (Fig. 71), nachher die innere Röhrchenschicht b den Nahrungskörper völlig umwachsen, so dass der letztere in das Zellinnere aufgenommen und hier ganz verarbeitet, zerlegt, in die eigenen Zellsubstanzen umgewandelt, also assimiliert wird. In diesem Falle erfolgt die „Verdauung" im Zellinneren; dort dagegen, bei blosser Berührung des Pseudopodiums mit dem Nahrungskörper, erfolgt sie ausserhalb der Zelle.

Dünne Pseudopodien, Wimpern, Geisseln, Haare.

Wir wollen nochmals wiederholen, dass die Durchmesser der Röhrchen jener inneren Membranschicht b in der Regel viel zu klein sind, als dass die Röhrchen uns in unseren Mikroskopen sichtbar wären. Sie werden uns aber sichtbar, wenn ihr Durchmesser mehr als 500mal grösser ist als etwa der Durchmesser

der Fistellen selber. Solche weitere Röhrchen müssen existenzfähig sein, wenn nur die Fistellen selber, aus denen sie aufgebaut sind, kräftig, stabil genug sind. Ueber eine gewisse Grösse hinaus gehen aber auch diese Röhrchen nicht. Es kann indessen Röhrchen geben, welche zwar auch aus Fistellen bestehen, wie oben beschrieben, deren eines Ende aber stets einen etwas anderen Querschnitt, nämlich nach einer bestimmten Richtung andere Durchmesser besitzt als ihr anderes Ende, vermöge geringer Aenderungen in ihrem Fistellenaufbau (Fig. 72, vgl. auch die zugehörigen analogen Fistellen Fig. 35, S. 69). Aus diesen Röhrchen gehen nun grössere ganz im Bereich der Sichtbarkeit befindliche Röhren hervor (Fig. 73, a = äussere Fistellenmembran, b = innere Röhrchenschicht, beides im Querschnitt; vgl. Fig. 71A), wie dünne Pseudopodien, Wimpern, feine Haare. Die in Figur 69 B (S. 124) dargestellte Radiolarienzelle (Thalassicolla nucleata) giebt uns ein vortreffliches Bild für sehr feine Pseudopodien, welche über die ganze Körperoberfläche fast gleichmässig verteilt und sehr zahlreich vorhanden sind. Aehnliche Pseudopodien, welche die Nahrung zu fangen suchen, zeigt die Rhizopodenzelle Orbitholites complanatus (Fig. 74). Feine Wimpern lassen die drei Zellen A (Fig. 75) oben erkennen, ebenso das Wimperinfusorium B in derselben Figur.

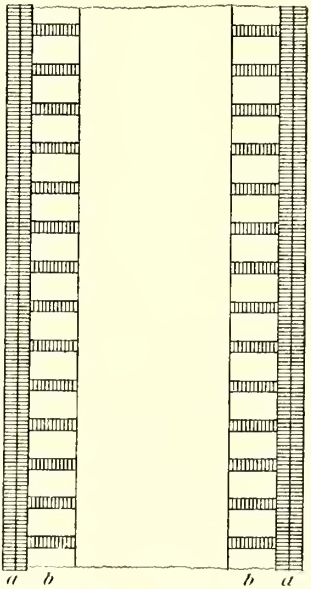


Fig. 73.

Schon im Reiche des Unsichtbaren fanden wir, dass mit Geisseln versehene Gebilde (S. 86) entstehen müssen, wenn die passenden Verhältnisse, wenn die richtige Nahrung dafür da ist. Ganz analog werden aus den Membranen gewisser Zellen, in denen die entsprechende Röhrchenentwicklung zu stande kommt, statt der über die ganze Oberfläche gleichmässig verteilten Pseudopodien oder Wimpern nur an einzelnen besonders bevorzugten Stellen, etwa an einem Pole eines Ovoids (vgl. Fig. 43 S. 86), Geisseln erzeugt werden (Fig. 75 C, D, E).

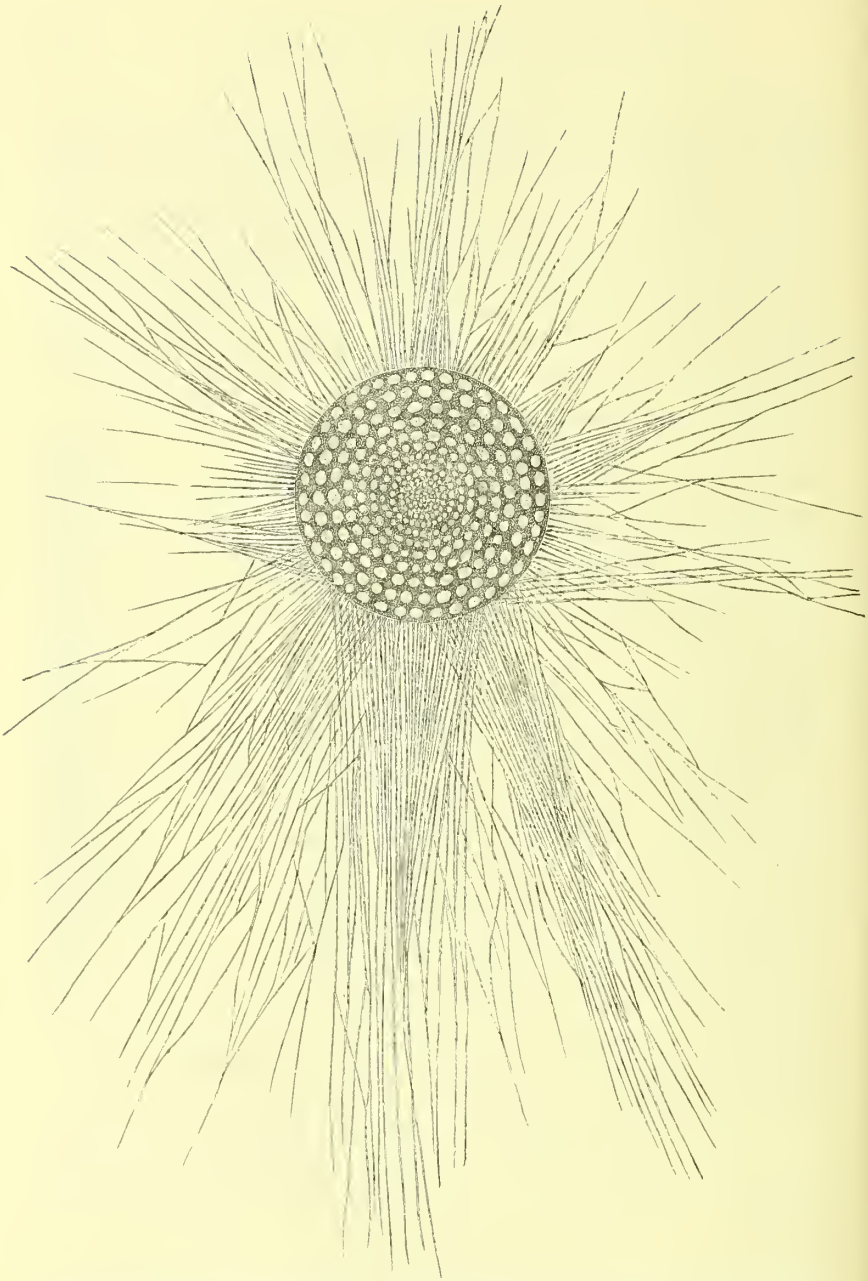


Fig. 74. Orbitholites complanatus, eine Rhizopodenzelle aus dem Roten Meer (kleines Exemplar, ca. 40mal vergr., natürl. Grösse der ausgewachsenen Exemplare durchschnittlich 15 mm). Der zentrale Protoplasmakörper steckt in einer runden scheibenförmigen Kalkschale, die aus zahllosen, im wesentlichen zu konzentrischen Ringen angeordneten Kammern besteht. Das Protoplasma jeder Kammer enthält einen oder wenige Zellkerne. An der Peripherie der Kalkschale treten zahlreiche, feine gerade Pseudopodienfäden heraus, die bei grossen Exemplaren oft fast 20 mm Länge erreichen, sich mehrfach verzweigen und auch untereinander verschmelzen. Auf den Pseudopodien sieht man die Protoplasma- und Körnchenströmung in schönster Entwicklung. Nach Verworn.

Eine Zelle mit nur einer Geissel wird in der Regel Nahrung aufnehmen nicht bloss durch die Geissel allein, sondern auch oder vielleicht sogar ausschliesslich durch die übrige Zelloberfläche. Es muss also die Geissel noch einen anderen Zweck haben, bestimmte andere Funktionen verrichten. Dieselbe dient

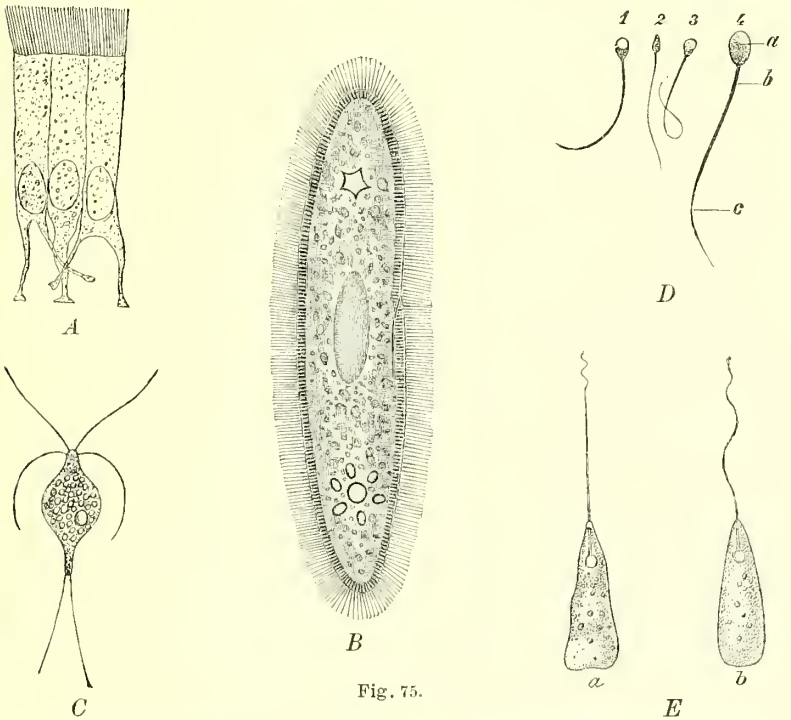


Fig. 75.

A. Drei Flimmerepithelzellen aus dem Nebenhoden des Menschen. Nach Schiefferdecker. B. Paramaecium aurelia, ein Wimperinfusorium. Nach Verworn. C. Hexamitus inflatus, ein Geisselinfusorium mit sechs Geisseln. Nach Stein. D. Spermatozoen vom Menschen. a Kopf, b, c Geissel. Nach Stöhr. E. Paranema, ein Geisselinfusorium, a schwächer, b stärker mit seiner Geissel schlagend. Nach Verworn.

in der That gewöhnlich der Fortbewegung der Zelle. Die Geissel besteht zum Teil aus kontraktiler Substanz, wobei nun bei grösseren, sichtbaren Geisseln diese Substanz statt nur aus einfachen nebeneinandergelagerten kleinsten Fistellen vielmehr aus grösseren analog nebeneinandergelagerten Röhrchen, etwa von länglichen Querschnitten, zusammengesetzt sein wird, ganz so wie wir dies bei den Membranen für die Röhrchenschicht b (Fig. 71) gezeigt haben. Wie in den Figuren 28 (S. 62) und 36 (S. 70) die

Fistellen, so verwandeln hier die ganzen Röhrchen, aus welchen die kontraktile Substanz aufgebaut ist, durch entsprechende chemische Beeinflussung der sie durchspülenden Flüssigkeit ihre länglichen Querschnitte in runde (Fig. 76. Die Ellipsen und die länglichen Sechsecke stellen in dieser Figur nicht einfache Fistellen-, sondern ganze Röhrchenquerschnitte dar). Ob aber die Geissel ihre Nahrung von aussen oder von innen erhalte, stets wird bei der Nahrungsaufnahme, wenn diese die eben genannte Flüssigkeit entsprechend chemisch beeinflusst, Bewegung der Geissel eintreten. Es erfolgt hauptsächlich eine Längskontraktion bz. eine Dilatation derselben bei innerem Nahrungszufluss, wenn die kontraktile Substanz in jedem Querschnitt senkrecht zur (geradlinig gedachten) Geisselachse ringsum genau gleich beschaffen ist. In allen anderen Fällen, zb. bei ungleicher Verteilung der Fistellen und der Röhrchen über den Geisselquerschnitt (Fig. 77), erfolgt dagegen eine Seitenbewegung, ein Schlagen der Geisseln, wie solches in der Regel an denselben beobachtet wird. Die Bewegung der Geissel muss immer so erfolgen, dass durch sie die Zelle ihrer Nahrung zugeführt wird, oder dass sie die Nahrung zu sich heranzieht, herbeistrudelt. Wäre das Umgekehrte der Fall, so würde die Zelle verhungern, weil sie ihre Nahrung flieht. Eine solche Zellenart würde sich trotz ihres komplizierten Aufbaus nicht fortpflanzen, sie würde nicht wachsen, sie würde überhaupt gar niemals entstanden sein, wenn sie irgend einen Kampf um ihre Nahrung zu führen gehabt hätte.

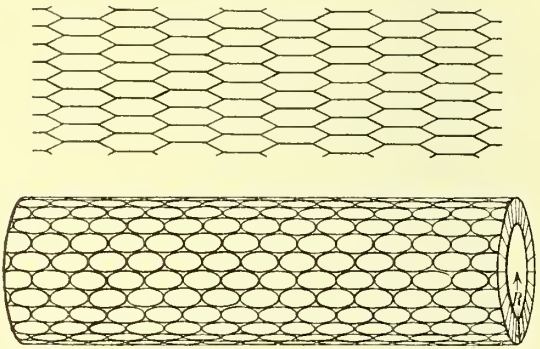


Fig. 76.

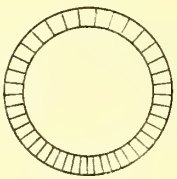


Fig. 77.

In analoger Weise wie die Geisseln dienen die Wimpern in vielen Fällen der Fortbewegung ihrer Zellen oder der Herbei-

strudelung von Nahrung. Sie bestehen dann aus kontraktiler Substanz und müssen im Sinne der Näherung von Organismus und Nahrung wirken, sonst wäre ihre Zelle wiederum nicht auf die Dauer fortpflanzungsfähig. Haben Geisseln oder Wimpern einen anderen Zweck, eine andere Funktion zu erfüllen, so müssen sie nach dieser Richtung hin arbeiten. Ihre Molekularbewegung muss dadurch in einer bestimmten Stärke erhalten bleiben, so dass ihre Molekeln fortwährend mindestens ebensoviel neue Substanz assimilieren, als solche verbraucht wird, so viel als andererseits zerfällt. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so erfolgt der Zerfall der Geissel oder der Wimper, das Absterben des bt. „Organoids", wie öfters die arbeitenden, eine gewisse Funktion verrichtenden Teile der Zelle ganz allgemein genannt werden. Dem Zerfall ihrer Organoide kann der Zerfall der ganzen Zelle unmittelbar folgen.

Gastrulazelle.

Wie schon unsichtbar kleine Gastrulen entstehen, wenn gewisse äussere Bedingungen gegeben sind (S. 90), so entstehen auch ganze Zellen in Gastrulaform, entweder aus den oben beschriebenen Membranen (Fig. 71 S. 135), oder aus in anderer Weise von Fistellenmembranen und Röhrchenschichten zusammengesetzten dickeren Membranen, welche Neigung haben, kugelförmige Gebilde zu erzeugen. Bedingung für das Entstehen einer Gastrula ist hauptsächlich eine spärliche Nahrungszufuhr, so dass die Membran bei ihrem ersten Flächenwachstum sich nicht zu einer kugelförmigen Blase schliesst, sondern einen Porus P (Fig. 51 S. 93), eine Oeffnung übrig lässt, wegen des Kampfes der an dieser Stelle assimilierenden Fistellen miteinander um ihre Nahrung. An diesem Porus setzt sich also, wie schon damals gezeigt wurde, die Membran im Inneren fort, wenn sie in einer nach aussen abschliessenden Hülle (etwa in einer Eihülle) sich befindet, oder es entsteht auch ohne solche Hülle eine zweite Membran der Gastrula, wenn diese bei sehr spärlichem Nahrungszufluss zu stande kommt. Sind beide Membranen gebildet, anfänglich ganz dünn, der noch kleinen Gastrula entsprechend, so wachsen sie nun aus, durch Nahrungsaufnahme. Zur Verstärkung der Zellwandungen werden die widerstandsfähigen Röhrchenschichten b (Fig. 71) verdickt, und zwar anders

für die äussere Membran m (Fig. 78), als für die inneren. Die äussere Membran m muss den äusseren Unbilden Widerstand leisten. Daher arbeiten namentlich die dafür vorhandenen und passend eingerichteten Molekeln und Fistellen derselben, sie assimilieren neue Molekeln. Die äussere Membran verstärkt sich durch eine immer dicker werdende Röhrchenschicht, bei Bedarf sogar so lange, bis der Stoffwechsel durch sie hindurch nahezu unmöglich geworden ist. Die innere Membran n muss dagegen fortan die Nahrungsaufnahme, die Verdauung besorgen. In ihr werden gleichfalls die für ihre spezifischen Funktionen günstigsten Molekeln assimilieren. Auch diese Membran n wird in der Regel aus einer Fistellenmembran a und einer Röhrchenschicht b (Fig. 71) bestehen; jedoch muss ihr Aufbau verschieden von demjenigen der äusseren Membran m sein, weil ihre Röhrchenschicht dem Durchfliessen von Nahrungsstoffen einen ganz besonders geringen Widerstand entgegensetzen soll, während sie andererseits unter äusseren Unbilden, unter mechanischen Einwirkungen weniger zu leiden hat. — Durch Kontraktionen ihrer kontraktilen Membranen stösst die Gastrula unbrauchbar gewordene Stoffe aus ihrem Innenraum aus, durch Expansionen derselben saugt sie wieder frische Nahrungsflüssigkeit auf. Durch dieselben Mittel, durch Kontraktionen und Expansionen kann sich die Gastrula fortbewegen, wie wir schon S. 95 erwähnt haben.

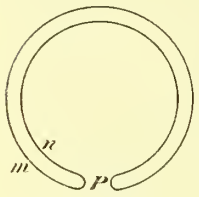


Fig. 78.

Zellmundbildung.

Noch in ganz anderer Weise als bei der Gastrula kann in einer Zellmembran ein Porus entstehen; denn die Natur hat zahlreiche Hilfsmittel, wenn es gilt, das Zweckmässige zu schaffen. Ein Porus kann dazu dienen, Sekrete oder Exkrete, welche sich im Zellinneren, in Vakuolen angesammelt haben, austreten zu lassen; er kann als Mund funktionieren, welcher Nahrungssubstanzen, Nahrungskörper ins Zellinnere, in Nahrungsvakuolen hineinbefördert; oder er kann für die genannten Funktionen gleichzeitig bestimmt sein, wie bei der Gastrula gewöhnlich angenommen wird. In der Regel werden die Wände eines solchen Porus von kontraktiler Substanz gebildet, welche den Porus stets zu verengern sucht. Durch gewisse Einflüsse wird dann der

Porus geöffnet. Er wird geöffnet durch mechanische Wirkungen von innen, nämlich durch unmittelbares Auseinanderreissen, wenn etwa der Porus mit der Vakuolenhaut direkt zusammenhängt und wenn nun die Vakuole mit Sekreten so stark angefüllt wird, dass eine grosse Spannung in ihrer Haut entsteht; oder er wird geöffnet durch andere Wirkungen, etwa durch chemische Veränderung der in den Fistellenhohlräumen seiner kontraktilen Substanz befindlichen Flüssigkeitsmolekeln, wenn die Vakuolenflüssigkeit unbrauchbar oder lästig geworden ist, wenn günstigere Nahrung ausserhalb des Porus sich befindet, welche bei der Oeffnung des Porus eingesaugt wird usf.

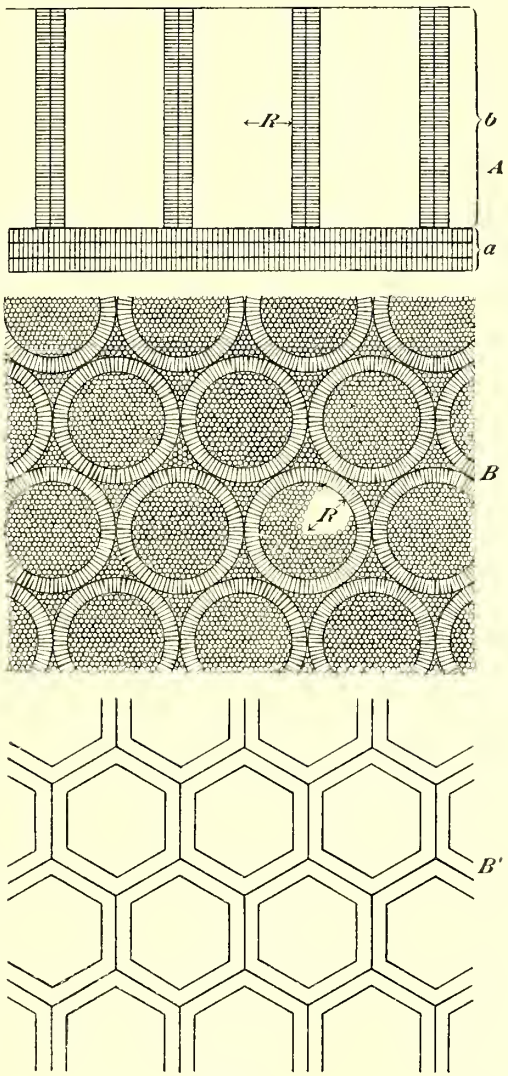


Fig. 79.

Wie wir früher (S. 99) bemerkt haben, findet der Durchtritt von grösseren Atom- oder Molekelaggregaten durch eine Membran hindurch besonders durch solche Fistellen statt, welche sich vergrössern, sich zur Teilung anschicken, so dass sie selber schon einen ganz kleinen Porus darstellen. In reichlicherem Masse geschieht ein Ausschwitzen, eine Sekretion unter Zerstörung, Zersprengung

von entsprechenden Fistellengruppen, zb. bei Membranen, welche aussen nur eine dünne Fistellenmembran a, innen aber eine dickere Röhrchenschicht b (Fig. 79) aufweisen. Hier werden leicht durch inneren Druck in der Zelle die Fistellen der äusseren Membran a da oder dort zersprengt werden, so dass Flüssigkeit durch einzelne Röhrchen der Röhrchenschicht austritt, bis jener Druck im Inneren nachgelassen hat. Sobald dies geschehen ist, legen sich die zerrissenen Fistellenmembranteile wieder zusammen, durch Assimilation ergänzt sich die Membran, die Risswunden verheilen. Ueberall da hingegen, wo die Absonderung, die Sekretion periodisch wiederkehren soll, werden solche wenig kontraktile Membransubstanzen, die bei dem Absonderungsvorgang teilweise zerrissen und nachher neu gebildet werden müssen, kontraktileren Substanzen weichen, im Kampf ums Dasein der bt. Zellen untereinander. Denn in einer Röhrchenschicht aus kontraktiler Substanz (Fig. 76 S. 144) wird ein einzelnes oder werden mehrere Röhrchen mit geringerem oder ganz ohne Schaden für den Organismus die Sekretion von Flüssigkeiten zu stande kommen lassen, indem jedes von ihnen durch entsprechende Kontraktion der Substanz einfach verschlossen wird, wie ein kleiner Porus, wenn keine Sekretion mehr erfolgen soll.

Ganz ähnlich wie ein Porus für die Stoffabsonderung bildet sich in der Zelle ein Mund aus, welcher geformte Stoffe aufnehmen soll, wie ein solcher bei gewissen ganz kleinen einzelligen, nur mit starken Vergrösserungen sichtbaren Infusorien bereits angetroffen wird. Durch ein zufällig weiteres Röhrchen der Röhrchenschicht b (Fig. 79) aus kontraktiler Substanz, wie oben, dringt nämlich ein komplizierteres Molekelaggregat, ein festes Körperchen ins Innere der Zelle ein, eventuell unter Zerstörung der dünnen, äusseren Fistellenmembran a, wenn eine solche überhaupt sich noch hier befindet. Ist das Körperchen für die Zelle „Nahrung", also in diesem Falle geformte Nahrung, wird dasselbe im Zellinneren verdaut und hilft es zum Leben der Zelle ganz wesentlich mit, mehr als andere flüssige Nahrung, welche auf osmotischem Wege durch die Zellwandungen hindurchfliesst, so siegen im Kampf ums Dasein die Zellen, welche an der bt. Stelle weitere Röhrchen besitzen, über die sonst gleichartigen Zellen ohne solche Röhrchen. Je grössere Nahrungskörper der

Zelle zuträglich sind, um so weiter wird ein solches an der für die Nahrungsaufnahme passendsten Stelle der Zelle gelegenes Röhrchen. Zwei benachbarte Röhrchen vereinigen sich, wandeln sich in ein einziges Röhrchen um; ebenso drei, vier Röhrchen usf. Nun sind alle das Röhrchen einhüllenden Membranteile stark kontraktile Substanz, wie wir besonders für diesen Fall vorausgesetzt haben. Ist es also für die bessere Ausnutzung der aufgenommenen festen Nahrungskörper vorteilhaft, dass das erweiterte Röhrchen während der Verdauung geschlossen werde, dass es nichts von dem Aufgenommenen wieder austreten lasse. bis zur Beendigung des Verdauungsvorganges, so wird die kontraktile Substanz sich allmählich in entsprechender Weise den Verhältnissen anpassen, bis das Röhrchen nach der Nahrungsaufnahme sich verschliesst, bis ein vollständiger Mund gebildet ist. Je nachdem es so oder so günstig ist für das Individuum, entsteht ein kontraktiler Mund, welcher sich durch innere Wirkungen, durch Reize, auf die wir später näher eingehen, immer öffnet, wenn keine Verdauung besorgt wird, wenn die aufgenommene Nahrung aufgebraucht ist, ein Mund, welcher beim Oeffnen das Unbrauchbare von der Nahrung ausstossen, neue Nahrung aber eintreten lässt, welcher sich schliesst, sobald die Verdauung im Gange ist. Oder es entsteht ein Mund, welcher durch äussere Reize, durch eine Witterung herannahender, etwa geformter Nahrung (durch Witterungsreize, auf welche wir gleichfalls später näher eingehen) besonders rasch geöffnet wird, so dass das Individuum diese geformte Nahrung erhascht. Oder es kann ein Mund entstehen, welcher unter Mitwirkung noch komplizierterer Funktionen seinen Dienst versieht. Ganz allmählich, Schritt für Schritt, sind neue Komplikationen zu dem Einfacheren hinzugekommen, weil es für diese Zelle im Kampf ums Dasein günstig war, weil in dem Kampfe gerade diese Zellenart siegte über alle anderen sonst gleichartigen und in gleichen Verhältnissen befindlichen Zellen, welche die bt. neue und zweckmässigere Komplikation nicht besassen.

Protoplasma.

Der Zellinhalt ausserhalb des Kerns, das Protoplasma, eine schleimige dickflüssige Masse, ist ein Gemenge zahlreicher in jeder Beziehung chemisch und morphologisch verschiedener Sub-

stanzen. In ihm finden sich, in eine Grundsubstanz eingebettet, fadenförmige Gebilde, Körnchen; es sind sowohl dickflüssige, als auch dünnflüssige Substanzen im Protoplasma enthalten. Die fadenförmigen Gebilde können Röhrchen sein oder Fibrillen. Was wir als Körnchen wahrnehmen, sind in vielen Fällen Bläschen, in anderen Fällen Körnchen oder Gastrulen oder Ovoide usf. Alle diese in der Zellflüssigkeit, im entsprechenden Zellsaft schwimmenden Gebilde können uns in ihrer Gesamtheit den Eindruck einer dickflüssigen Masse machen. Gleichwohl bewegen sich viele von ihnen selbständig fort, zb. vermittels eigener Pseudopodien oder Geisseln oder Wimpern. Denn schon in diesen kleinsten Gebilden sind solche eigene Fortbewegungsorganoide nicht nur möglich, sondern sogar wahrscheinlich (S. 87). Andere Gebilde, wie Stärkekörnchen, Fetttröpfchen, Aleuronkörnchen usf. werden passiv fortbewegt.

Besonders bemerkenswert sind im Protoplasma der meisten Pflanzenzellen die Chlorophyllkörner, rundliche oder bandförmige Körperchen (Fig. 68a S. 123), welche der Zelle ihre grüne Farbe geben. Diese Körner sind selber nichts weniger als einfache Körper, vielmehr enthalten sie noch manche ganz verschiedenartige Gebilde, kleinere Körnchen, Bläschen usf. in ihrem Inneren. Den Chlorophyllkörnern verdankt die Pflanzenzelle hauptsächlich die Fähigkeit, mit Hilfe der Energie des von aussen zugestrahlten kräftigen Lichtes den Kohlensäuremolekeln ihre Kohlenstoffatome zu entreissen, sie mit anderen Atomen zugeführter wässeriger Salzlösungen zu vereinigen, also die Fähigkeit, Molekeln passender komplizierterer Substanzen aufzubauen, zu assimilieren.

Ferner findet man in sehr vielen Zellen grössere oder kleinere sg. Vakuolen (Fig. 68 A und B, Fig. 69 S. 124); oft sind dieselben kugelförmig und in grosser Zahl vorhanden (Fig. 69 B, Fig. 74 S. 142). Diese Vakuolen sind eigentlich Flüssigkeitstropfen, in vielen Fällen deutlich von einer Membran eingehüllt. Wir dürfen wohl sicher annehmen, dass auch diejenigen Vakuolen, welche keine sichtbare Membran erkennen lassen, dennoch in der Regel von einer unsichtbar dünnen durchlässigen Membran umgeben sind. Diese Membran trennt die Flüssigkeit der Vakuolen von dem Protoplasma, in welchem sie sich befinden. Oft nehmen die Vakuolen einen so bedeutenden

Raum der Zelle ein, wie zb. in vielen Pflanzenzellen (Fig. 68), dass das Protoplasma seinem Volumen nach neben ihnen fast verschwindet.

Kernmembran.

Der Zellkern hat im allgemeinen gleichfalls eine eigene umhüllende Membran, welche indessen stets aus ganz anderen Fistellen und Molekeln aufgebaut ist, als die äussere Zellmembran. Dessenungeachtet kann dieselbe im übrigen ausser einer einfachen Fistellenmembran a (Fig. 79 S. 147) bei grösserer Membrandicke noch eine Röhrchenschicht b aufweisen, wenn dies in irgend einer Beziehung für die Zelle in ihrem Kampf ums Dasein mit anderen Zellen von Vorteil ist. Die Verschiedenheit der beiden genannten Membranarten, der Zellmembran und der Kernmembran, geht daraus hervor, dass die Substanz unmittelbar ausserhalb des Kerns, aus welcher doch der letztere seine Nahrung beziehen muss, selber anders beschaffen ist, als die ursprüngliche Nahrungsflüssigkeit ausserhalb der Zelle; und ganz ebenso ist die innerhalb der Kernmembran befindliche Substanz anders als die unmittelbar ausserhalb derselben befindliche. Folglich sind die Molekeln der Zellmembran und diejenigen der Kernmembran, welche doch im Gleichgewichte des Gegenseitigkeitsverhältnisses mit so verschiedenartigen Substanzen stehen, selber verschieden; ihre Fistellen, welche ganz verschiedene flüssige Molekeln oder Atomkomplexe durch ihre Hohlräume hindurchtreten lassen, sind gleichfalls entsprechend andere.

Kernsubstanzen.

Gegen das Protoplasma ist also der Kern im allgemeinen abgegrenzt durch die Kernmembran, auch dann, wenn wir dieselbe wegen ihrer geringen Dicke noch gar nicht zu sehen vermögen. Im Kerne sind wiederum viele ganz verschiedene Substanzen enthalten; dieselben sind chemisch und morphologisch voneinander verschieden. Wir treffen im Kerne fadenförmige Gebilde an, feine Stränge von Röhrchen oder Fibrillen, aus Substanzen bestehend, welche mit unseren bisherigen Färbemethoden durchweg noch nicht unterscheidbar sich färben liessen, weshalb man sie als die achromatischen Kernsubstanzen (Linin) bezeichnet hat. Ferner trifft man im Kerne andere Faden-

gebilde und feine Körnchen aller Art an, die meistens mit den achromatischen Kernsubstanzen verbunden sind, an ihnen hängen, aus Substanzen bestehend, welche sich umgekehrt mittels vieler chemischer Stoffe färben lassen. Ihre Gesamtheit nennt man die chromatischen Kernsubstanzen (Nucleïn). Oft tritt noch ein kleineres Körperchen, das Kernkörperchen, in der Kernsubstanz besonders hervor (Fig. 67, S. 123), wie die chromatischen Substanzen gleichfalls färbbar, aber deshalb doch nicht unbedingt aus diesen gleichen Substanzen bestehend. Der ganze nicht von den genannten Substanzen beanspruchte Raum des Zellkerns ist erfüllt von dem entsprechenden Zellsaft.

Manche Zellen enthalten nicht nur einen solchen Kern, sondern zwei oder mehr Kerne, oft eine ganze Menge derselben. Diese Kerne können einander ganz gleichwertig sein, sie können aber ebensowohl chemisch und morphologisch voneinander verschieden sein, auch wenn wir solches mit unseren Mitteln noch gar nicht zu erkennen vermögen. Wirklich findet man in vielen Zellen, in ciliaten Infusorien, neben einem grossen (chromatischen) Kern noch einen oder mehrere kleinere (achromatische) Kerne. In anderen Zellen scheinen alle Kerne aus ganz derselben Substanz zu bestehen. Doch wird das letztere vielleicht niemals in aller Vollkommenheit der Fall sein.

Aus dieser Aufzählung verschiedener Substanzen, verschiedener in ihrer Gesamtheit den Zellbestand ausmachender Gebilde geht hervor, dass schon die einfachsten uns bekannten Zellen überaus komplizierte Organismen sind. Dabei haben wir hier nur einen Teil der in den Zellen möglichen Aggregate aufgezählt. Die Zellen können in der That schon weit verwickelter aussehen, als es nach unserer bisherigen Beschreibung den Anschein hat. Dafür aber, wie vielerlei chemisch voneinander verschiedene Substanzen, wie vielerlei morphologisch voneinander verschiedene Gebilde in den Zellen vorhanden seien, dafür hat uns die biologische Forschung bis dahin nur überaus dürftige Angaben machen können. Vielleicht gelingt es überhaupt kaum, in dieser Beziehung noch viel weiter vorzudringen.

Verdauende Substanz.

Alle für die Zelle wesentlichen Bestandteile derselben haben selbstverständlich ihre ganz bestimmte Bedeutung. Befindet sich also die Zelle in einer Nährflüssigkeit, so nimmt ihre umhüllende Membran aus derselben nicht nur diejenigen Stoffe auf, welche die Membransubstanz selber zur Assimilation der mit ihr gleichartigen Molekeln nötig hat, sondern sie befördert auch diejenigen Stoffe durch osmotische Vorgänge in das Innere der Zelle hinein, welche irgend eine innen befindliche wesentliche Zellsubstanz zu ihrem Wachstum benötigt. Die Zellmembran ist also gewissermassen eine verdauende Substanz für alle übrigen innen befindlichen Zellsubstanzen. Nun ziehen alle inneren Zellsubstanzen — zum Teil aus der allgemeinen, überall hindringenden inneren Nahrungsflüssigkeit, aus dem Zellsaft auswählend — diejenigen Stoffe an sich, welche sie zu ihrer Assimilation brauchen. Zum Teil aber bedürfen solche Substanzen zu ihrer Ernährung bereits hochmolekularer Verbindungen, welche selber erst auf Umwegen aus jener allgemeinen Nahrungsflüssigkeit gebildet werden, etwa durch besondere verdauende Substanzen, deren Stoffwechsel ein entsprechend günstiger ist. Dieselben verarbeiten in diesem Falle die Abscheidungsprodukte anderer, nämlich der besonders für sie verdauenden Substanzen, wandeln sie in eine mit ihnen gleichartige Substanz um, assimilieren dieselben. Zwischen allen Zellsubstanzen, welche einander unmittelbar benachbart sind und welche derselben Nahrung bedürfen, entbrennt demnach der Kampf ums Dasein, der Kampf um die Nahrung, wenn diese spärlich vorhanden ist. Jede von diesen Substanzen sucht nach Vermögen zu assimilieren, sucht sogar die anderen Substanzen in die mit ihr gleichartige zu verwandeln, und nur dann verliert ein solches Bestreben wesentlich an Stärke oder es verschwindet ganz, wenn die sich berührenden Substanzen in dem entsprechenden Gegenseitigkeitsverhältnisse günstigster Resonanz (S. 75) zu einander stehen.

Gebilde des Zellinneren, welche mit eigenen Bewegungsorganoiden begabt sind, können sich selbständig im Zellsaft bewegen und ihre Nahrung aufsuchen. Ist diese Nahrung hier spärlich vorhanden, so kämpfen solche Gebilde, welche wir als Synbionten der Zelle bezeichnen wollen, teils mit ihresgleichen

um die Nahrung, sich dabei auch den Bedürfnissen der Zelle anpassend und sich vervollkommnend, teils kämpfen sie mit anderen Synbiontenarten oder mit anderen inneren Substanzen der Zelle, welche ganz dieselbe Nahrung in ihre eigene gleichartige Substanz zu assimilieren suchen. Unter Umständen liefern aber die Synbionten Exkrete oder Sekrete, welche wiederum Nahrung für andere wesentliche Zellbestandteile sind, so dass sie die Rolle verdauender Substanzen spielen. Oder die Synbionten nähren sich von solchen Zellsubstanzen, welche den übrigen wesentlichen Zellbestandteilen schädlich wären, wenn sie nicht vernichtet würden; in diesem Falle tragen die Synbionten gleichfalls wesentlich zur Lebensfähigkeit der Zelle bei.

Wegen des immerwährenden Kampfes aller Zellbestandteile untereinander um die Nahrung muss die Zelle sich vervollkommnen. Siegen im Kampf um die Nahrung diejenigen Zellbestandteile, die Synbionten der Zelle miteingeschlossen, welche der Zelle für ihre Erhaltung, für ihre Fortpflanzung nützlich sind, so bleibt die Zelle selber Siegerin im Kampf ums Dasein mit anderen Zellen. Sie bleibt erhalten, pflanzt sich fort, während andere sonst gleichartige Zellen mit ungünstigerem Kampf ihrer inneren Bestandteile unterliegen. Diese unterliegen entweder dadurch, dass sie weniger leicht Nahrung aufzunehmen vermögen als jene Zelle, oder dadurch, dass sie die aufgenommene Nahrung weniger zweckmässig zu verarbeiten, zu verteilen im stande sind. Im Kampf ums Dasein in der Zelle selber sucht sich ein gewisses Gleichgewicht der Zellbestandteile untereinander herzustellen, ein Gleichgewicht, welches nur dann wirklich erreicht sein kann, wenn der Zelle genau so viel Nahrung von aussen zugeführt wird, als sie im ganzen ohne Aenderung ihres Gesamtbestandes verbraucht. Die Korrelation der Zellbestandteile untereinander strebt dann danach, dass jederzeit in jeder von den Zellsubstanzen gleichviel Molekeln neu assimiliert werden, als in ihr zerfallen.

B. Reizwirkungen.

Reizleitende Substanz.

Es hat aber die Zelle noch andere Funktionen zu verrichten, als nur Nahrung aufzunehmen, sie zu verarbeiten und

die unbrauchbaren Stoffe wieder zu entfernen. So wichtig dieser Stoffwechsel der Zelle ist, er allein kann doch nicht der Grund sein der oft überaus komplizierten Zellgestaltung. Vielmehr wirken noch andere Einflüsse mit. Namentlich hat jede Zelle um ihr Dasein zu kämpfen nicht nur in der einen Beziehung, dass sie genügend viel und möglichst passende Nahrung in sich aufnimmt, sondern auch in der anderen Beziehung, dass sie äusseren schädigenden Einflüssen aller Art entgeht. Entweder muss sie organischen und unorganischen Feinden, welche ihr Dasein zu beeinträchtigen oder zu zerstören bestrebt sind, erfolgreichen Widerstand entgegensetzen oder sie muss dieselben fliehen.

Bringt irgend ein äusserer Einfluss auf eine Zelle oder auf einen Bestandteil derselben irgend eine Wirkung hervor, welche durch normale Zellfunktionen wieder rückgängig gemacht werden kann, also zb. eine entsprechende Aenderung einer Eigenschaft derselben oder eines Vorgangs in derselben, so nennen wir diese Einwirkung einen Reiz. Jede Zelle hat die Eigenschaft der Reizfähigkeit, der Reizbarkeit. Folglich muss sie auch die Fähigkeit der Reizleitung besitzen, wie aus dem Folgenden hervorgehen wird. Ruft nämlich ein Reiz die Aenderung einer Eigenschaft einer Zellsubstanz hervor, so müssen in dieser Substanz die Molekeln sich ändern, die Atome müssen in entsprechender Weise sich anders anordnen. Denn durch diese werden die Eigenschaften der Substanzen bedingt. Ruft der Reiz die Aenderung eines Vorgangs in der Zelle an irgend einer Stelle hervor, so müssen dabei in den kleinsten Teilchen der bt. Substanz, in den Molekeln, in den Atomen derselben Vorgänge geändert werden. Beispielsweise werden durch Lichtreize die Eigenschwingungen in den Aetherhüllen der Atome entweder verstärkt oder geschwächt oder in ihrer Periode geändert. Nur solche Einwirkungen auf die Zelle, welche Aenderungen in den kleinsten Teilchen derselben, in den Molekeln und Atomen selber hervorbringen, können wir nach unseren rein mechanischen Entwicklungen als Reizwirkungen gelten lassen. Aber alle diese Aenderungen pflanzen sich in gleichartigen Substanzen fort, wenn sie einmal in ihnen entstanden sind; folglich ist in allen Substanzen eine gewisse Reizleitungsfähigkeit vorhanden.

Chemische Reize.

Einige besondere Fälle mögen zur Erläuterung dienen: Wird einer Molekel ein gewisses Atom durch einen äusseren Reiz entrissen, wird demnach ein chemischer Reiz auf dieselbe ausgeübt, so sucht sich dieselbe ein gleiches Atom wieder zu verschaffen durch einen Assimilationsvorgang mit anderen gleichartigen Nachbarmolekeln zusammen. Gelingt ihr dies, so verliert diejenige ihrer Nachbarmolekeln ein solches Atom, welche in einem geeigneten Moment bei dem Zusammenstosse mit jener Molekel ihr bezügliches Atom weniger stark festzuhalten vermochte, als sie selber es anzog, und die Reizwirkung hat sich von einer Molekel auf eine Nachbarmolekel fortgepflanzt. In gleicher Weise pflanzt sie sich stets von irgend einer einmal betroffenen Molekel zu einer anderen benachbarten, also überhaupt von einer Stelle der Zelle zu einer anderen fort. Wir erhalten daraus die Fähigkeit der Fortleitung einer chemischen Reizwirkung für die bt. Substanz. An solcher Reizleitung kann sich entweder nur eine Substanz allein beteiligen, nämlich diejenige, welcher die zuerst gereizte Molekel angehört, oder für den Fall, dass von dieser Molekel der benachbarten Molekel einer ganz anderen Substanz das entsprechende Atom entrissen worden ist, nimmt auch diese zweite Substanz teil an der Leitung. Die zweite Substanz kann sogar für die Folge die Reizleitung ganz allein übernehmen, wenn das Atom, um dessen Auswechslung es sich handelt, in ihren Molekeln leichter auswechselbar ist als in der Substanz der ursprünglich gereizten Molekel.

Es hat zwar jede Substanz die Fähigkeit, in der beschriebenen Weise chemische Reize fortzuleiten; allein in der Regel besitzt doch stets die eine Substanz diese Fähigkeit in stärkerem Grade als die andere. Es teilen sich dann die Substanzen in der Zelle untereinander ein bezüglich ihrer Funktionen. Die am besten reizleitende Substanz übernimmt die Reizleitung in der Zelle, ganz analog wie etwa die kontraktile Substanz die Kontraktionen und Expansionen, also die Bewegungen der Zelle besorgt, wie die verdauende Substanz die von aussen herbeigeschaffte, direkt nicht verwendbare Nahrung in andere verwendbare Nährsubstanz umwandelt, also die Verdauung über-

nimmt usf. — Ebenso käme die Reizleitung zu stande, wenn der gereizten Molekel nicht ein Atom entrissen, sondern ein solches hinzugefügt worden wäre, vorausgesetzt, dass sie das Bestreben hat, ein solches Atom aufzunehmen.

Gelingt es jener gereizten Molekel nicht, das ihr entrissene Atom wieder zu erhalten, zerfällt sie statt dessen in eine einfachere Molekel und einen Molekelrest, eine Atomgruppe, so ist nun diese Gruppe unter Umständen neue Nahrung geworden für die umliegenden Molekeln, welche aus derselben ein Atom oder mehrere Atome an sich zu reissen suchen. Einer Molekel wird dies gelingen und damit ist wieder ein neuer chemischer Reiz entstanden; im Kampf um die Nahrung giebt sie aber das Atom an eine Nachbarmolekel gelegentlich ab, welche dasselbe Atom zu erstreben sucht, und so wandert das bt. Atom und damit auch der entsprechende Reiz von Molekel zu Molekel durch die Substanz hindurch, wie schon früher (S. 84) anschaulich gemacht worden ist (Fig. 80). Auch in dieser Beziehung ist jede Substanz fähig, Reizwirkungen fortzuleiten. Es bestehen aber Unterschiede in der Reizleitungsfähigkeit. Substanzen, welche Reizwirkungen leichter fortleiten als andere, haben selbstverständlich für die Zelle gewisse diesbezügliche Vorteile vor den anderen Substanzen voraus.

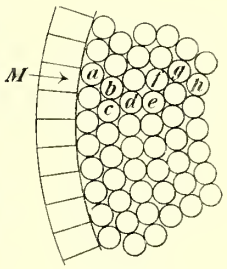


Fig. 80.

Ermüdung, Lähmung.

Steht der reizleitenden Substanz Nahrung zur Verfügung, kann sie zb. aus dem Zellsaft das ihr etwa infolge des Reizes abhanden gekommene Atom beziehen, so hört die Reizleitung in ihr mit der Aufnahme eines solchen Atoms auf. Wenn also ein andauernder Reiz zu stande kommen und merklich fortgeleitet werden soll, so muss eine entsprechende Zeit lang der gereizten Molekel das bt. Atom immer wieder aufs neue entrissen werden, falls sie ein solches einer Nachbarmolekel abzunehmen im stande war. Hält nun der Reiz längere Zeit an und verliert während derselben die reizleitende Substanz in ihrer Gesamtheit fort und fort mehr von den ihr durch den Reiz entrissenen Atomen, als sie aus der Nahrung in der gleichen

Zeit wieder aufzunehmen, zu assimilieren im stande ist, so muss schliesslich eine Abnahme der bt. Reizleitungsfähigkeit, eine Ermüdung der reizleitenden Substanz eintreten. Sobald nämlich dieser Substanz so viele Atome entrissen werden, als sie sich überhaupt entreissen lässt ohne Gefährdung ihrer Existenz, so hört ihre chemische Reizleitung ganz auf, sie ist total ermüdet. Wird aber die äussere Einwirkung, der Reiz abgestellt, so wird die reizleitende Substanz aus ihrer Nahrungsflüssigkeit alle verlorenen Atome allmählich wieder aufnehmen durch Assimilation. Sie regeneriert sich, sie erholt sich vollkommen nach gänzlicher Ermüdung.

Einen analogen Erfolg wie die zu starken Reize haben gewisse chemische Einflüsse, wie sie zb. durch die sogenannten Narkotica hervorgebracht werden. Die Molekeln der reizleitenden Substanz erfahren durch solche Einwirkungen eine Atomumsetzung oder Atomumlagerung, welche ihnen die Fähigkeit nimmt, dieselben Reize wie bisher weiterzuleiten. Die reizleitende Substanz wird gelähmt. Der Zustand, in welchen diese Molekeln gelangt sind, ist indessen nicht ganz identisch mit demjenigen der ermüdeten Substanz, weil andere molekulare Veränderungen eingetreten sind. Wenn diese Veränderungen im molekularen Aufbau nicht zu tief greifende sind, wird auch die narkotisierte reizleitende Substanz aus der ihr gebotenen Nahrungsflüssigkeit sich wieder vollständig regenerieren. Denn alle Substanzen der lebenden Zelle stehen in einem gewissen Gegenseitigkeitsverhältnisse der Resonanz zu einander, sie stehen in Korrelation untereinander; sie streben einem bestimmten Gleichgewichtszustande entgegen (S. 105) und sie unterstützen sich gegenseitig zur Erreichung dieses Gleichgewichtes.

Verschiedene andere Reizarten.

Anders ist der Vorgang der Reizleitung, wenn der Reiz selber keine chemischen Aenderungen an der gereizten Molekel hervorruft, wenn keinerlei Atomumlagerungen stattfinden. Jeder Druck oder Zug, welcher eine Molekel aus ihrer normalen Gleichgewichtslage bringt, wirkt als Reiz, als mechanischer Reiz. Diesen Druck oder Zug überträgt die Molekel auf benachbarte Molekeln, vermöge ihrer elastischen Kräfte, von diesen wird er wieder auf andere Nachbarn übertragen usf.; der mechanische Reiz

wird fortgeleitet. Ebenso werden Bewegungsvorgänge von einer Molekel auf eine andere benachbarte übertragen. Wird durch äusseren Reiz eine Molekel in heftiger zuckende Bewegung, in stärkere Wärmebewegung übergeführt, wie dies einer höheren Temperatur entspricht, so überträgt sie diese Bewegung nach und nach auf die benachbarten Molekeln; der Wärmereiz wird fortgeleitet. Bringen wir einer Molekel regelmässig periodisch hin und her gehende Schwingungen bei, durch einen akustischen Reiz, durch eine Schallwelle, welche an ihr in den betrachteten Organismus eintritt, so bewirkt sie in ihren Nachbarmolekeln entsprechende Schwingungen gleicher Periode; der akustische Reiz wird fortgeleitet. Analog wirken Reize durch Bewegungsvorgänge im Aether. Wenn wir die Aetherhülle einer Molekel in stärker zuckenden Bewegungszustand versetzen, durch einen elektrischen Reiz, so giebt diese Aetherhülle ihre übermässig starken Bewegungen zum Teil an benachbarte molekulare Aetherhüllen ab, von diesen werden die übernommenen stärkeren Bewegungen wiederum an andere Nachbarn abgegeben usf.; der elektrische Reiz wird fortgeleitet. Uebertragen wir auf die Aetherhülle einer Molekel eine stärkere, periodisch schwingende Bewegung durch Lichtstrahlung, durch einen optischen Reiz, so wird diese Schwingungsbewegung von Aetherhülle zu Aetherhülle fortgepflanzt; auch der optische Reiz wird fortgeleitet.

Reizumwandlung.

Bei allen diesen äusseren Beeinflussungen wird ein Teil der an die gereizte Molekel von aussen übertragenen Energie in eine andere Energieform verwandelt werden können, in bekannter Weise den physikalischen Gesetzen gehorchend. Dann entsteht aus einem Reiz unter Umständen, bei belangreicher Umwandlung, ein ganz anderer Reiz. So erhält zb. eine Molekel, welche durch Wärmereiz als Ganzes in heftiger zuckende Bewegung versetzt worden ist, dadurch einen entsprechend heftigeren Schwingungszustand ihrer Atome und ihrer Aetherhüllen; es entstehen stärkere Eigenschwingungen der molekularen Aetherhülle, es entsteht Eigenlicht derselben. Ein Lichtreiz entwickelt sich daher und pflanzt sich seinerseits von Molekel zu Molekel in dieser Substanz fort. Analog wird ein akustischer Reiz einen

Lichtreiz im Gefolge haben. In einer Molekel, welche durch Schall als Ganzes in Schwingungen versetzt wird, werden die Atome und ihre Aetherhüllen dadurch in entsprechend verstärkten Schwingungszustand übergeführt; die Molekel strahlt stärkere Eigenschwingungen ihrer Aetherhülle, stärkeres Eigenlicht aus als sonst, so dass wiederum ein Lichtreiz von ihr ausgeht. Umgekehrt könnte auch ein Lichtreiz einen akustischen Reiz nach sich ziehen. Alle Reize können sodann in chemische Reize umgewandelt werden, wenn sie entsprechend intensiv und anhaltend wirken, so dass chemische Zersetzungen, Umsetzungen erfolgen. Bei jeder solchen Reizverwandlung verschwindet im ursprünglichen Reize Energie, sie erscheint im neu entstandenen Reiz in anderer Form wieder. Für die Verwandlung gilt das Gesetz von der Erhaltung der Energie.

Reizübertragung.

Alle Reizleitungsfähigkeiten sind zwar bei allen Substanzen vorhanden, sie sind aber für verschiedene Substanzen und für verschiedene Reizarten verschieden. Auf ein solches Verhalten muss schon aus den vorhergehenden Ueberlegungen geschlossen werden. Dann verteilt sich aber auch die Reizleitung auf verschiedene Substanzen in verschiedener Weise, wie wir hier noch näher erläutern wollen. Es muss diese Verschiedenheit zur Geltung kommen, wenn verschiedenartige Substanzen in einem gereizten Organismus unmittelbar nebeneinander sich befinden, wenn sie miteinander vermischt sind. Hat zb. eine Molekel infolge eines chemischen Reizes eine Atomumlagerung oder eine Veränderung ihres Atombestandes durchgemacht, so können alle gleichartigen Molekeln, es kann die bt. Substanz ganz allgemein diesen chemischen Reiz übertragen. Ist aber mit dieser eine andere Substanz in Berührung, welche leichter die gleichen hier in Betracht kommenden Atome auswechseln lässt als diese, so wird die andere Substanz die Leitung des chemischen Reizes im wesentlichen allein übernehmen, wie wir schon oben gesehen haben (S. 156). Zur Leitung ganz bestimmter chemischer Reize sind in der That verschiedene Substanzen ganz verschieden befähigt. Lässt eine gewisse Substanz leichter ein Wasserstoffatom los, als alle anderen in ihrer Nachbarschaft befindlichen Substanzen, so wird gerade sie den durch Abgabe eines Wasserstoffatoms

entstehenden chemischen Reiz leichter fortleiten, als jene anderen Substanzen. Der bt. Reiz folgt also gerade dieser Substanz, wenn sie auch in komplizierter Weise in der betrachteten Zelle verteilt ist, unter Umständen auf allen möglichen Umwegen, ohne auf eine andere Substanz überzugehen. Eine zweite Substanz dagegen mag leichter denjenigen chemischen Reiz fortleiten, welcher durch die Abgabe oder Aufnahme eines Sauerstoffatoms entstanden ist usf.

Mechanische Reize verhalten sich anders. Sie übertragen sich von einer Substanz leicht auf eine ganz andere, wenn der Aggregatzustand beider Substanzen flüssig oder gasförmig ist. Kommen aber feste Substanzen in Betracht, so treten auch hier Verschiedenheiten auf. Eine Fibrille, gezogen, streckt sich ihrer Länge nach, sie dehnt sich und wird dadurch dünner. Befindet sie sich in einer Flüssigkeit, so kann diese, wenn das Fibrillenvolumen bei der Dehnung nicht verändert wird, keine Druckänderung erleiden, so dass der Zug nur durch die Fibrille allein, nicht durch die Flüssigkeit sich fortpflanzt. Ebenso kann ein Druck durch ein festes Stäbchen in seiner Längsrichtung übertragen werden, ohne dass dadurch die dasselbe umgebende Flüssigkeit in Mitleidenschaft gezogen würde.

Auch thermische und akustische Reize übertragen sich nicht völlig gleichmässig von einer Substanz auf irgend eine andere, weil nicht jede Substanz die gleiche Fähigkeit hat, ihre Molekeln in den bt. Zustand unregelmässig zuckender bz. periodisch schwingender Bewegungen überführen zu lassen. Aehnlich verhalten sich die elektrischen Reize. Die Molekeln verschiedener Substanzen lassen ihre Aetherhüllen nicht in gleich leichter Weise in den Zustand derjenigen unregelmässigen Zuckungen übergehen, welche der Elektrisierung derselben entsprechen. Ohne aber auf diese feinsten Bewegungsvorgänge in aller Tiefe einzudringen, weiss man schon aus der Physik, dass die Leitungsfähigkeiten für Wärme, für Schall, für Elektrizität usf. in verschiedenen Substanzen verschieden sind. Für manche Substanzen sind diese Leitungsfähigkeiten recht gross, für andere sehr klein, für keine wägbare Substanz sind sie aber unmessbar klein.

Grösser noch sind im allgemeinen die Unterschiede bei der optischen Reizleitungsfähigkeit. Jede molekulare Aetherhülle hat ihre ganz bestimmten Eigenschwingungen, und wenn sie

auch durch genügend starke äussere Einflüsse zu jeder anderen Schwingungsbewegung gezwungen werden kann, so nimmt sie doch vermöge der Resonanz diejenigen Schwingungsbewegungen, welche ihren Eigenperioden entsprechen, besonders leicht auf, leitet sie sehr gut weiter. Schwingungsbewegungen, welche mit ihren Eigenschwingungen nicht harmonieren, nimmt sie unter Umständen fast gar nicht auf und leitet sie noch weniger leicht weiter. Ein optischer Reiz wird also fast ausschliesslich von derjenigen Substanz fortgeleitet, deren molekulare Aetherhüllen mit den Schwingungen dieses optischen Reizes gleiche Eigenschwingungsperioden besitzen. Für optische Reize besteht eine grosse Verschiedenheit in der Leitungsfähigkeit verschiedener Substanzen. Optische Reize übertragen sich deshalb ähnlich wie chemische Reize verhältnismässig sehr wenig von einer Substanz auf eine beliebige andere.

Schwellenwert, Optimum des Reizes.

Bei einem Reize haben wir nicht nur auf seine Art, sondern auch auf seine Intensität zu achten. Ein Reiz kann so schwach sein, dass er, obwohl er sich immer in der beschriebenen Weise ausbreiten muss, doch nirgends eine merkliche Eigenschaftsänderung einer Substanz, nirgends merkliche Atomumlagerungen bewirkt. Verstärken wir nun den Reiz, so gelangen wir zu einem bestimmten Werte desselben, bei welchem eine den Reiz übernehmende Substanz unseres betrachteten Organismus eben merkliche Eigenschaftsänderungen, Atomumlagerungen erfährt. Zu dieser Substanz ist der Reiz wirksam hingeleitet worden. Die Atomumlagerungen in der Substanz werden durch ihren Stoffwechsel wieder rückgängig gemacht, sobald der Reiz verschwunden ist. Diesen eben noch merklichen Wert des Reizes nennen wir den Schwellenwert desselben. Wird der Reiz stärker und stärker, so wächst seine Wirkung immer mehr. Zuletzt aber kann der Reiz so stark geworden sein, dass diejenige Substanz, welche den Reiz leitet, oder diejenige, auf welche die Reizwirkung übertragen werden soll, zerfällt, dass sie sich durch den Stoffwechsel nicht wieder regenerieren kann. In diesem Falle wird der Reiz zwar für den Organismus nicht unmerklich sein, aber er wirkt doch nicht mehr als gewöhnlicher Reiz auf ihn ein, sondern als verderbenbringender Einfluss. Zwischen

diesem Grenzwert und dem Schwellenwerte des Reizes giebt es eine Reizstärke, welche am günstigsten auf die zu beeinflussende Substanz einwirkt, und diesen Wert des Reizes bezeichnen wir als sein Optimum. Für jeden der oben besprochenen Reize muss jeweilen ein bestimmter Schwellenwert, ein bestimmtes Optimum, ein bestimmter Grenzwert vorhanden sein.

Zeitdauer des Reizerfolgs.

Wahrscheinlich sind die von der reizleitenden Substanz übertragenen Reize in der Regel chemischer Natur, so dass die Ursache ihrer Entstehung und diejenige ihrer Fortleitung in chemischen Umsetzungen zu suchen ist. Die Geschwindigkeit der Reizleitung wird dann bestimmt durch die Zeitdauer und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der bt. chemischen Reaktionen. Die Zeitdauer, bis eine chemische Reaktion zweier miteinander innig vermischter Flüssigkeiten eintritt, ist nach Versuchen von Landolt und anderen oft recht beträchtlich. Hat aber die chemische Umwandlung an einer Stelle eines homogenen Gemisches begonnen, so pflanzt sie sich meistens sehr rasch durch das ganze Gemisch hindurch fort. Denn durch die in einer ersten Molekel erfolgende chemische Umsetzung, durch die Vereinigung ihrer Atome vermöge der Affinitätskräfte geraten diese Atome in heftige Schwingungen; es entsteht Eigenlicht jener Molekelart, welches ausgestrahlt wird und mit Lichtgeschwindigkeit sich ausbreitet. In unmessbar kleinen Zeiträumen werden daher die benachbarten Atome von diesem Lichte getroffen, sie werden in denjenigen Schwingungszustand versetzt, welcher ihrer Vereinigung zu der neuen Molekelart besonders günstig ist, und vermöge der Resonanz nehmen sie als gleichartige Atome diesen Schwingungszustand besonders leicht an. Je mehr von den neuen Molekeln entstehen, um so stärker wird das von ihrer Gesamtheit ausgehende Eigenlicht und um so schneller schreitet die chemische Umsetzung durch das ganze Gemisch hindurch fort.

Eine reizleitende Fibrille, welche an ihrem einen Ende gereizt wird, muss also nach einiger Zeit, nach der notwendigen Zeitdauer der chemischen Reaktion, zuerst eine, dann mehr und mehr Molekeln sich umsetzen lassen. In der gleichartigen Substanz, das heisst in der reizleitenden ringsum von

anderer Substanz eingehüllten Substanz pflanzt sich das bei der chemischen Umsetzung entstandene Eigenlicht mit Lichtgeschwindigkeit fort. Also wird auch die chemische Umsetzung selber und somit der Reiz mit verhältnismässig grosser Geschwindigkeit längs der Fibrille sich fortpflanzen. Er wird allen Krümmungen der Fibrille folgen, weil die Fibrillenhülle als ungleichartige Substanz den Reiz gar nicht oder doch nur wenig aufnimmt. Weder kann letztere die Eigenlichtschwingungen der reizleitenden Substanz aufnehmen, welche von ihr eingehüllt wird, noch kann sie die chemischen Umsetzungen derselben mitmachen; denn die chemische Umsetzbarkeit der reizleitenden Substanz ist nach unseren früheren Erläuterungen die grössere und dadurch wurde eben die Substanz zu einer reizleitenden. Demzufolge setzt sich die Zeitdauer eines Reizerfolgs in einer nicht unmittelbar gereizten Substanz aus drei Teilen zusammen, aus den Zeitdauern: 1. der chemischen durch äussere Einflüsse hervorgebrachten Reaktion in den unmittelbar gereizten Molekeln der reizleitenden Substanz, 2. des Fortschreitens dieser Reaktion in der reizleitenden Substanz, 3. der chemischen Reaktion von jener reizleitenden auf die mittelbar zu reizende Substanz. Die erste und die dritte Zeitdauer werden an verschiedenen Stellen einer und derselben reizleitenden Fibrille und sie werden für verschiedene Reizintensitäten verschiedene sein; die zweite Zeitdauer ist dagegen namentlich abhängig von der Intensität der augenblicklichen chemischen Umsetzungen und von den Querschnittsänderungen der Fibrille. Die Zeitdauer des Reizerfolgs kann unter günstigen Umständen eine sehr geringe sein, nie kann aber eine mittelbare Reizwirkung mit Lichtgeschwindigkeit übertragen werden.

C. Differenzierungen.

Besondere Eigenschaften der Zellsubstanzen.

Wir erkennen aus unseren bisherigen Entwicklungen, dass alle Substanzen gewisse Eigenschaften besitzen, welche für das organische Leben überaus wichtig sind. Ganz allgemein suchen alle Substanzen zu assimilieren; aus hochkomplizierten Molekeln gebildete Substanzen müssen ernährt werden, wenn sie nicht mit der Zeit in einfachere stabilere Verbindungen zerfallen

sollen. Ihr Nahrungsbedürfnis ist dabei ein sehr verschiedenes, ihr Stoffwechsel quantitativ und qualitativ ein ganz ungleicher. Neben jener allgemeinen sind indessen noch andere speziellere Eigenschaften von grosser Wichtigkeit. Wir wollen dieselben hier nebeneinander stellen:

Substanzen können vorzugsweise zur Uebertragung von Druck- oder Zugkräften, überhaupt von mechanischen Kräften von einem Teil der Zelle auf einen anderen dienen; solche Substanzen nennen wir kurzweg Stützsubstanzen. Andere Substanzen, welche namentlich den Transport von Nahrungsstoffen oder von Stoffwechselprodukten übernehmen, welche gewisse Stoffe, gewisse Atomkomplexe leicht in sich aufnehmen, dieselben aber auch an andere Substanzen leicht wieder abgeben, sind transportierende Substanzen. Wieder andere Substanzen besorgen die Verdauung für andere Zellsubstanzen, nämlich die verdauenden Substanzen. Sodann giebt es Substanzen, welche durch ihre Stoffausscheidungen eine besondere Bedeutung für ihre Zelle erlangt haben; dieselben sind als sezernierende Substanzen aufzufassen. Substanzen aus Fistellen mit regelmässigem Querschnitt und noch mehr solche aus Fistellen mit länglichen Querschnitten haben, wie wir früher erkannt haben, eine besonders grosse Kontraktionsfähigkeit. Wir nennen sie kontraktile Substanzen. Diejenigen Substanzen endlich, welche hauptsächlich die Reizleitung und die Aufnahme von Reizen besorgen, welche dementsprechend die leichteste chemische Umsetzbarkeit besitzen, wollen wir als nervöse Substanzen bezeichnen.

Differenzierungen in der Zelle.

Jedes Gebilde, auch das kleinste und einfachste, enthält nach unseren Auseinandersetzungen Stützsubstanz, transportierende, verdauende, sezernierende, kontraktile und nervöse Substanz. Besteht dasselbe nur aus einer einzigen Substanz, so muss sie eben allein alle diese Funktionen übernehmen; denn jede Substanz ist solches im stande, wie aus unseren früheren Entwicklungen hervorgeht. Sind es zwei Substanzen, welche ein Gebilde zusammensetzen, zb. eine Membran und in ihrem Inneren eine Flüssigkeit, so ist jedenfalls die Membran eine Stützsubstanz, die Flüssigkeit eine transportierende Substanz. Allein

auch die Flüssigkeit kann in gewissem Sinne Stützsubstanz sein. Ist sie nämlich innerhalb der Membran so reichlich vorhanden, dass sie einen inneren Ueberdruck auf die Membran hervorbringt, welcher etwa durch Osmose entstanden ist, so trägt auch dieser osmotische Druck zur Steifigkeit und unter Umständen zur Festigkeit des Gebildes bei. Die übrigen Funktionen, welche das Gebilde zu verrichten hat, werden jeweilen von einer seiner beiden Substanzen vorzugsweise besorgt, nämlich von derjenigen, welche mit grösserem Vorteil für die Existenz des Gebildes dies thut. Es ist zb. die Membran auch die verdauende Substanz für die in ihrem Inneren befindliche Flüssigkeit; sie ist insbesondere die kontraktile Substanz des Gebildes usf.

a. Stützsubstanz.

In einem komplizierteren Gebilde, einer Zelle, welche sehr verschiedene Substanzen in sich enthält, ist die Differenzierung infolge des Kampfs ums Dasein entsprechend weiter fortgeschritten. Eine Substanz derselben ist vorzugsweise Stützsubstanz und hat sich in ihrer Anordnung in der Zelle namentlich diesen Funktionen angepasst. Eine Zelle, welche zb. unter hohen äusseren Druck kommt, der sie zusammenzupressen und dadurch zu vernichten droht, erhält eine kräftige aus Fistellenmembran und Röhrchenschicht kombinierte Membran (Fig. 71, S. 135), und wenn diese allein nicht ausreichen sollte, ausserdem noch feste Stützen innerhalb derselben, eigene Stützmembranen, Fibrillen, Fäden, Stäbchen zwischen verschiedenen Membranteilen, von einer Seite der Zelle zu der entgegengesetzten. Denn die Substanz im festen Aggregatzustande ist ganz besonders befähigt, Kräfte von einer Stelle der Zelle auf eine andere zu übertragen. Es können feste, unorganisierte, unorganische Körper in dieser Weise abgelagert und verwendet werden. Nicht nur Zug- oder Druckkräfte, auch Biegungen, Torsionen usf. werden von festen Substanzen in vorteilhaftester Weise übertragen, seien nun diese aus nicht quellbaren fest zusammengelagerten Molekeln oder aus quellbaren Fistellen aufgebaut. Solche Stützsubstanzen aller Art halten schädliche Wirkungen von dem Organismus ab, dem sie angehören.

b. Transportierende Substanz.

Eine andere Zellsubstanz übernimmt den Transport der Nahrungsstoffe zu jedem einzelnen Teile, zu jedem Organoide der Zelle, zu jeder ihrer Fistellen, ihrer Molekeln, indem sie gewisse Atomkomplexe immer an gewissen Stellen aufnimmt, an anderen Stellen dieselben wieder abgiebt. Hauptsächlich sind leicht bewegliche Flüssigkeiten dazu befähigt, welche alle Hohlräume eines Gebildes erfüllen, weil in ihnen noch Konvektionsströme in günstigem Sinne wirksam sind. Wenn ihre eigenen Molekeln selber nicht geeignet sind, um allen Substanzen der Zelle die nötigen Atomgruppen abzugeben, wenn insbesondere ihre Molekularkonstitution nicht eine so komplizierte ist, dass solche Umsetzungen mit Leichtigkeit möglich wären, so werden entsprechend vorteilhaftere Molekeln, Molekelkomplexe, Flüssigkeitströpfchen oder feste Körperchen gebildet, welche von der transportierenden leichtflüssigen Substanz überall hingeschwemmt werden. Die Zellen werden daher in günstigster Weise mit Nahrung versorgt, dadurch dass die transportierende Substanz vermöge veränderter Nahrungsaufnahme der Zelle sich soweit ändert, bis sie den passendsten Bestand angenommen hat.

Als transportierende Substanzen können wir auch die Reservestoffe bezeichnen, welche Nahrung aufspeichern, sie später bei Bedarf wieder abgeben. Auch sie verdanken der Zweckmässigkeitsforderung ihre Entstehung. Wenn nämlich in die Zelle vorübergehend mehr Nahrung eingeleitet wird, als sie normalerweise verbraucht, so wird der Gleichgewichtszustand, welchem alle Zellsubstanzen untereinander zustreben, vorübergehend gestört. In vielen Fällen wird die augenblicklich überschüssige Nahrung abgelagert, aufgespeichert. Wurden nun aus der zu viel in die Zelle eingeströmten Nahrung Substanzen gebildet, welche sich in der Zelle anlagerten, solange Nahrungsüberfluss da war, welche aber wieder in gewöhnliche Nahrung zurückverwandelt wurden, sobald Nahrungsmangel eintrat, so haben Zellen mit diesen Substanzen, mit diesen Reservestoffen einen ungemein grossen Vorteil voraus vor anderen Zellen ohne dieselben. Wenn sie nämlich vorübergehend an einen Ort gelangen, an welchem sie keine Nahrung erhalten, so können sie von ihren Reservestoffen zehren und weiter existieren, während

die Zellen ohne Reservestoffe bald zu Grunde gehen. Ist der zeitweilige Nahrungsmangel für eine gewisse Zellart die Regel geworden, so können überhaupt nur noch die Zellen sich fortpflanzen, welche Reservestoffe ansammeln, die anderen kommen um. Es bleiben zuletzt nur diejenigen Zellen der bt. Art übrig, welche die Einrichtung erlangt haben, für die Periode des Nahrungsmangels einen genügenden Vorrat von Reservestoffen zu erwerben.

c. Verdauende Substanz.

Mindestens eine Substanz übernimmt in jedem Organismus die Funktion der verdauenden Substanz. Sie muss den zur Ernährung der Zelle dienenden Gasen, Flüssigkeiten oder festen Körpern die passende Nahrung entziehen und sodann alle Atome oder Atomgruppen, welche anderen Zellsubstanzen zu ihrer Assimilation nötig sind, vermöge ihres Stoffwechsels leicht wieder abzugeben im stande sein. Schon die äussere Zellmembran ist gewissermassen eine verdauende Substanz. Sie leitet durch Osmose eine Art Verdauung ein. Es werden nämlich diejenigen Stoffe, diejenigen Atome und Atomgruppen, welche durch starken Verbrauch im Zellinnern absorbiert und also aus der Zellflüssigkeit verschwunden oder doch spärlich in derselben enthalten sind, stärker durch die Fistellenmembran hereinströmen als die innen noch vorrätigen Stoffe. In dieser Beziehung wird daher durch die Gesetze der Osmose von selbst die von der Zelle aufgebrauchte, also die notwendigste, die vorteilhafteste Nahrung wieder ins Innere befördert. Feste Nahrungskörper können dabei durch sezernierte Stoffe an die Zellmembran geklebt und unter ihrer Mitwirkung verdaut werden. Oft aber umwächst die Zelle solche festen Körper, umfliesst sie, nimmt sie in ihr Inneres auf und verdaut sie dort. Unbrauchbare Stoffe werden wieder nach aussen abgeleitet, damit sie keinen schädigenden Ballast der Zelle bilden.

Wenn nun die verdauenden Substanzen, als welche zum Teil auch viele im Zellinneren lebenden Synbionten zu betrachten sind, immer qualitativ genau die gleichen Nahrungsstoffe den Zellorganoiden zuführen würden, so wäre die Anpassungsfähigkeit der Zelle an die Aussenwelt eine verhältnismässig geringe. Das für die gegebenen äusseren Bedingungen Passende würde sich ein für allemal im Kampf ums Dasein herstellen. Wenn

aber später die äusseren Verhältnisse, die Lebensbedingungen, namentlich die Ernährungsbedingungen ungünstigere würden für diesen Organismus, so könnte derselbe nur degenerieren, nie sich vervollkommnen und den neuen Bedingungen sich anpassen. Haben wir es indessen mit Substanzen von hochkompliziertem Molekelbau in unseren Zellen zu thun, so werden einzelne Molekeln der verdauenden Substanz zufällig einmal ein Atom mehr oder eines weniger erhalten, oder ein ganz anderes Atom durch Austausch sich einverleiben, als es normalerweise der Fall ist. Sie werden besonders leicht neue derartige Veränderungen eingehen, wenn die aussen befindliche Nahrung, welche ihnen zugeführt wird, eine andere geworden ist; ebenso wenn das Zellinnere selber einen veränderten Bestand aufweist, weil dann das Gegenseitigkeitsverhältnis der Resonanz unter den Zellsubstanzen und der von diesem erstrebte Gleichgewichtszustand geändert ist. Variiert aber die verdauende Substanz im Atomgehalt ihrer Molekeln, so verändern sich alle ihre Eigenschaften. Folglich nimmt sie andere Nahrung auf, in demjenigen Masse, in welchem ihre eigenen Molekeln variiert worden sind. Dadurch ändern sich hinwiederum von den im Inneren der Zelle befindlichen Substanzen einige oder alle. Die Zelle erhält einen entsprechend geänderten Bau. Kann sie in diesem geänderten Zustande den veränderten äusseren Einflüssen weniger gut Widerstand leisten als zuvor, so geht sie bald zu Grunde, ihre Nachkommen ebenfalls, und diese Zellart pflanzt sich nach kurzer Zeit nicht mehr weiter fort. Diejenigen Zellen aber, welche durch Veränderung ihrer verdauenden Substanz eine vorteilhaftere Konstitution erhalten haben, welche widerstandsfähiger gegen äussere Einflüsse und anpassungsfähiger an die geänderten äusseren Bedingungen geworden sind, bleiben bestehen, sie pflanzen sich fort.

d. Sezernierende Substanz.

Eine Zellsubstanz, welche die Sezernierung übernimmt, hat eine nicht minder grosse Bedeutung. Die unbrauchbaren Stoffe müssen möglichst ausgeschieden werden. Es sind dies alle Zersetzungsprodukte, welche im Inneren der Zelle entstehen, ohne noch weiter zu Zellsubstanzen assimiliert werden zu können. Manche Stoffe dringen ins Innere der Zelle ein, ohne dort Verwendung zu finden. Solche Stoffe werden sezerniert und als

Exkrete in der Regel ausgestossen. Einige von diesen Stoffen können von den Lebewesen im Innern der Zelle, von den Synbionten, als Nahrung verbraucht und dadurch für die Zelle unschädlich gemacht werden. Sind die Exkrete der Synbionten für die Zelle weniger schädlich als jene von ihnen verzehrten Stoffe, welche oft sogar Gifte für andere Zellbestandteile sind, so tragen die Synbionten zur Widerstandsfähigkeit der Zelle wesentlich bei, ohne freilich durch ihren Stoffwechsel eine „Verdauung" zu bewirken, ohne anderen Zellbestandteilen passende Nahrung zu verschaffen.

Andere Substanzen sezernieren Stoffe, welche die verdauenden Substanzen unterstützen, welche chemisch auf die Nahrung einwirken, so dass diese nachher von den verdauenden Substanzen leichter aufgenommen wird. Solche sezernierten Stoffe sind dann selber auch als verdauende Substanzen aufzufassen. Noch andere Sekrete dienen zum Einfangen der Nahrung, wieder andere zum Schutze der Zellen gegen äussere Feinde, indem sie beispielsweise einen unangenehmen Geruch verbreiten oder die die Zelle umgebende Flüssigkeit trüben usf. Die sezernierenden Substanzen sind in den Zellen nicht plötzlich vollkommen differenziert aufgetreten, sondern sie haben sich nach und nach entwickelt. Sie hielten jederzeit in ihrer Entwicklung Schritt mit den äusseren Lebensbedingungen.

e. Kontraktile Substanz.

Ganz offenkundig beteiligt sich die kontraktile Zellsubstanz (Fig. 76, S. 144) an dem Kampfe der Organismen untereinander. Sie muss sich immer durch etwas veränderte Nahrungsaufnahme der verdauenden Substanz den äusseren Lebensbedingungen genau anpassen. Stets muss sie so wirken, dass die Zelle zu der Nahrung hinbewegt oder dass die Nahrung herbeigezogen wird, sobald Nahrungsmangel eintritt. Andere gegenteilige Kontraktionsbewegungen haben sofort die schädlichsten Folgen, führen zur Vernichtung der Zelle. Denn wenn die Zellen durch ihre kontraktile Substanz von ihrer Nahrung entfernt werden oder ihre Nahrung von sich stossen, müssen sie absterben. Analog muss die kontraktile Substanz Feinden oder sonstigen schädlichen äusseren Einflüssen gegenüber wirken. Erfolgen die Kontraktionen in der Weise, dass die Zelle dadurch den schädlichen

Einflüssen entgeht, so bleibt sie am Leben, pflanzt sich fort. Zellen mit kontraktiler Substanz, welche dieselben umgekehrt zu schädlichen Einflüssen, zu Feinden hinleitet, kommen früher um, pflanzen sich weniger lang oder gar nicht fort, und sie verschwinden nach und nach vom Kampfplatze.

f. Nervöse Substanz.

Diejenige Zellsubstanz, welche am geeignetsten ist für die Reizleitung, wird mehr und mehr zur nervösen Substanz ausgebildet. Funktioniert die am besten reizleitende Substanz einer Zelle viel weniger gut als diejenige einer anderen sonst ganz gleichen Zelle, so siegt die letztere im Kampf ums Dasein gegen die erstere. Es kommt jedoch dabei nicht auf die stärkste Reizleitung an, sondern auf die beste, die vorteilhafteste. Besitzt eine Zelle nervöse Substanz von so grosser Reizleitungsfähigkeit, dass die gewöhnlich auf die Zelle einwirkenden Reize die nervöse Substanz leicht zerstören, so ist diese Zelle bei ihrem Wettbewerb im Nachteil gegen eine Zelle, welche nur so grosse Reizleitungsfähigkeit ihrer Substanzen besitzt, dass jene Zerstörung der letzteren nicht eintritt. Umgekehrt ist diejenige Zelle im Vorteil, deren Substanzen eine solche Reizleitungsfähigkeit haben, dass hie und da wenigstens der Schwellenwert des Reizes überschritten wird, gegen eine Zelle, bei der dieser Schwellenwert gar nie erreicht wird. Also wird auch die nervöse Substanz ausschliesslich in den Dienst der Zweckmässigkeit gestellt. Die Leitungsfähigkeiten organischer Substanzen sind hauptsächlich für elektrische, für optische und für chemische Reize stark verschieden. Von gewissen Substanzen werden beispielsweise nur ganz bestimmte Lichtarten, bestimmte Farben fortgeleitet. Diejenigen nervösen Substanzen, welche aufs beste befähigt sind, elektrische, optische und namentlich chemische Reize fortzuleiten, spielen wohl in unseren Organismen eine besonders hervorragende Rolle.

Weitere Differenzierungen.

Entstehen mehr und mehr verschiedenartige Substanzen in einer Zelle, so schreitet auch ihre Differenzierung immer noch weiter fort. Stützsubstanzen können zum Teil ganz starre feste Körper sein, wie Kalknadeln, Kieselnadeln usf., zum Teil elastische

Körper, wie Fistellengebilde, kontraktile Substanz, gewellte Membranen (Fig. 81 A expandierter, B kontrahierter Zustand). Transportierende Substanzen werden immer mehr voneinander verschiedene Nährsubstanzen mit sich führen, und ganz verschiedenartige Reservestoffe können sich ansetzen. Die einen Substanzen werden diese, die anderen jene Nahrung verdaulich machen oder selber verdauen; die einen diese, die anderen jene Stoffe absondern. Es werden kontraktile Substanzen entstehen,

Fig. 81.

welche sich rasch kontrahieren, andere, welche sich langsam kontrahieren, je nach Bedarf, je nachdem sie in der einen oder in der anderen Art ihrer Zelle zum Vorteil gereichen. Was die Reizleitung anbetrifft, so wird eine nervöse Substanz die eine Reizwirkung, eine andere die andere Reizwirkung besser übertragen. Alle diese und noch weitere Differenzierungen werden fortwährend von der Zweckmässigkeitsforderung regiert, indem das Ungünstige die Zelle in Nachteil bringt den anderen günstiger eingerichteten Zellen gegenüber, so dass im Kampf ums Dasein das Günstigere jederzeit siegt.

Morphologische Differenzierungen.

Nicht nur die chemische, sondern auch die morphologische Differenzierung der Zellsubstanzen unterliegt den Forderungen der Zweckmässigkeit. Die Stützsubstanz bildet sich in denjenigen Formen und an denjenigen Stellen der Zelle, an welchen sie am leistungsfähigsten ist. Denn unter den sonst gleichartigen, den gleichen Lebensbedingungen unterworfenen Zellen siegen diejenigen im Kampf ums Dasein, welche ihre Stützsubstanz, die ihnen doch beispielsweise Schutz verleiht, an der passendsten Stelle angelagert haben. Aus den gleichen Gründen muss die transportierende Substanz die günstigste Zirkulationsbewegung ausführen, den günstigsten Kreislauf bewirken, die zweckmässigste Konsistenz annehmen. Die verdauenden und die sezernierenden Substanzen erhalten nicht nur bestimmte Gestaltungen, welche ihnen die passendste Wirkungsfähigkeit erlauben,

sondern sie werden auch an denjenigen Stellen hervorgebracht, an welchen sie am besten zur Geltung kommen.

Die kontraktile Substanz muss gleichfalls in Beziehung auf ihren Aufbau so beschaffen sein, wie sie der Zelle die besten Dienste leistet. Dabei wird die Weite, die Querschnittsform der Fistellen bz. der Röhrchen, welche die Elemente der kontraktilen Substanz sind, eine sehr wichtige Rolle spielen. Sind, wie wir bereits S. 172 angedeutet haben, für die Zelle sehr starke oder rasche Bewegungen, starke Zuckungen ihrer kontraktilen Substanz zum Leben vorteilhafter, so siegen im Kampf ums Dasein diejenigen Zellen der bt. Art, deren kontraktile Substanz die stärkeren, die rascheren Bewegungen macht. Sind etwa wegen zu grosser zu bewegender Massen die raschen Kontraktionsbewegungen schädlich, so dass Substanzen der Zelle durch solche rasche Bewegungen abgerissen, verletzt werden könnten, so siegen im Kampfe diejenigen Zellen, deren kontraktile Substanz langsame Bewegungen vermittelt, und nur diese Zellen pflanzen sich reichlich fort. Sie verdrängen allmählich alle ungünstiger veranlagten Zellen der gleichen Art[1]). Wenn ferner für die Zellen solche kontraktile Substanz die günstigste ist, welche sich plötzlich kontrahiert, aber langsam expandiert, so siegen wiederum im Kampfe die Zellen mit dieser besseren Einrichtung; sie bleiben länger am Leben und pflanzen sich stärker fort. Entsprechend anders wäre es, wenn die entgegengesetzte Eigenschaft für eine Zellart die günstigere sein sollte, oder wenn die Zellen mit ganz gleich rasch sich kontrahierender und expandierender Substanz leichter fortkämen.

Sodann muss die kontraktile Substanz in derjenigen Gesamtform entstehen, an denjenigen Stellen der Zelle angreifen, in der Weise ihre Kontraktionen und Expansionen auf die übrigen Zellteile übertragen, wie es der Zelle zum besonderen Vorteil gereicht. Ist es für die Fortbewegung zur Nahrung oder für das Fliehen vor Feinden das günstigste, wenn gegenüberliegende Zellmembranteile einander direkt genähert werden, so heftet sich die kontraktile Substanz an diesen gegenüberliegenden Zellwänden an. Sie verläuft dann auf möglichst kurzen Wegen von einer Zellwandung zur anderen, bildet hier ihre Fistellenmembranen,

[1]) Man erinnere sich beispielsweise der quergestreiften und der glatten Muskelfasern.

ihre Röhrchen und ganzen Fibrillen, welche in passender Anzahl da und dort die Zelle durchsetzen. Sind Krümmungen einer langgestreckten Zelle vorteilhaft für ihre Bewegung, so lagert sich die kontraktile Substanz in der Längsrichtung an die Zellmembran an, etwa in getrennten Bändern, so dass nur das eine Band in bestimmtem Augenblicke, nämlich auf den bt. Reiz hin, sich kontrahiert, das andere aber gleichzeitig vielleicht sogar expandiert [1]). (Fig. 82. Das kontrahierte Band ist dick, das expandierte dünn ausgezogen.)

Nicht minder ist die reizleitende, die nervöse Substanz von der Leistung, welche sie auf das zweckmässigste zu besorgen hat, unmittelbar abhängig nicht nur ihrer Art nach, sondern auch ihrem Aufbau, ihrer äusseren Form nach. Eine bestimmte Zellsubstanz übernimmt deshalb die Funktionen der chemischen Reizleitung, weil sie die am leichtesten umsetzbare von den Substanzen der Zelle ist (S. 156). Demnach ist sie auch an Stellen, an welchen ein Reiz nicht zu stande kommen soll, reizbar, leicht umsetzbar. Gelingt es daher irgend einer Zelle, diese reizleitende Substanz durch Ansetzen passender Fistellen mit einer den Reiz nicht merklich leitenden Membran überall da zu umgeben, wo ein Reiz normalerweise nicht auf die nervöse Substanz ausgeübt werden soll, so übersteht diese Zelle den Kampf ums Dasein besser als alle anderen Zellen der gleichen Art. Sie lebt länger, pflanzt sich länger fort, erhält die zahlreichsten Nachkommen. Unter allen Nachkommen der Art siegen wiederum die mit dieser geschützten nervösen Substanz begabten Zellen, und zuletzt sind alle diejenigen, welche diesen Schutz entbehren, vom Schauplatze verschwunden.

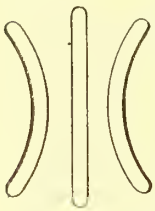


Fig. 82.

Die Hülle, welche die nervöse Substanz erhält, kann die Eigenschaft haben, Reize fast gar nicht zu leiten, oder sie darf solche doch nicht an die unmittelbare Umgebung der nervösen Substanz an jeder beliebigen Stelle abgeben. Nur an ganz be-

[1]) Eine gleichzeitige plötzliche Kontraktion einer ganzen Zelle, in welcher nicht gasförmige Vakuolen vorhanden sind, ist in merklicher Weise nicht denkbar, wegen der geringen Kompressibilität der Flüssigkeiten und der festen Körper; durch Auspressen von Zellsaft kann dagegen eine langsame Kontraktion zu stande kommen.

stimmten Stellen sollen die Reize auf andere Substanzen, zb. auf die kontraktile Substanz, übertragen werden, und dort fehlt die nichtleitende Hülle. Auch diesen Bedingungen wird von den bereits mit eingehüllten nervösen Substanzen versehenen Zellen in verschiedener Weise genügt. Die besten von diesen siegen, die ungünstiger ausgestatteten unterliegen. Stets passt sich die Hülle der nervösen Substanz der Bedingung der zweckmässigsten Nichtleitung an.

Die nervöse Substanz hat den Reiz an gewissen Stellen, zb. an allen Punkten der Zelloberfläche aufzunehmen und ihn zu gewissen anderen Stellen, zu anderen Punkten der Zelloberfläche oder zu solchen des Zellinneren, etwa dahin, wo sich kontraktile Substanz befindet, fortzuleiten. Diese Fortleitung wird auf einem möglichst kurzen Wege besorgt. Die nervöse Substanz wird also in Fibrillen oder in Röhrchen von der Reizstelle zu der zu reizenden Substanz reichen; sie wird mit der letzteren an so vielen Stellen zur Berührung kommen, als die Zweckmässigkeit erfordert. Ebenso wie die kontraktilen Substanzen werden die sezernierenden, die verdauenden, die transportierenden Substanzen, die Stützsubstanzen unter Umständen gereizt werden. Ueberallhin müssen Fibrillen nervöser Substanz reichen. Indessen wäre eine übermässig grosse Aufsplitterung der nervösen Fibrillen für ihre eigene Existenz und somit für das Leben der Zelle selber nachteilig. Nicht jede Molekel jeder anderen Substanz kann mit einer Fibrille der nervösen Substanz unmittelbar in Verbindung stehen. Die letzte Reizleitung zu den einzelnen zu reizenden Molekeln einer bestimmten Substanz müssen vielmehr die kleinsten Teilchen, die Molekeln der bt. Substanz selber besorgen, was ihnen dann leicht gelingt, wenn sie selber schon im Reizstadium sich befinden (S. 156).

Jede der von uns betrachteten Substanzen hat die ihr speziell zukommenden Funktionen in möglichst ausgiebiger und vorteilhafter Weise zu besorgen. Aber dabei muss auch das Getriebe aller Substanzen überall und jederzeit aufs beste harmonieren. Dass dies immer zweckmässig geschehe, dafür sorgt die Korrelation der Teile untereinander. Alle einzelnen Substanzen bedürfen der Ernährung, der Neubildung ihrer Molekeln. Sie müssen zu assimilieren im stande sein, weil fortwährend im Kampfe der Molekeln, der Fistellen, der ganzen

Organoide untereinander einzelne Molekeln zerfallen und durch andere neu assimilierte zu ersetzen sind. Der Leistung der Zelle entsprechend muss also eine ganz bestimmte Nahrungsmenge, eine bestimmte Qualität der Nahrung aufgenommen, sie muss in verdauliche Form gebracht, überallhin transportiert werden. Substanzen, welche sich mit eigenen Hüllen umgeben, wie die nervöse Substanz, die kontraktile und vielleicht auch andere Substanzen, müssen doch an einer Stelle ihre Nahrung aufzunehmen vermögen, ihren Stoffwechsel besorgen können, entweder durch ihre aus passenden Fistellen bestehenden Hüllen hindurch, oder es muss an besonderen Stellen in die von den Hüllen umschlossenen Räume die Nahrung ein- bz. das Unbrauchbare wieder austreten. Die Stützsubstanzen und die kontraktilen Substanzen könnten in Membranen das ganze Innere der Zelle kreuz und quer durchziehen; sie würden damit den an sie selber gestellten Bedingungen gut genügen. Membranen sind aber, auch wenn sie aus Fistellen bestehen, weniger für die transportierenden Substanzen durchlässig, als eine Summe von einzelnen quer von Zellwand zu Zellwand verlaufenden Fibrillen. Daher werden Stützsubstanzen, kontraktile Substanzen und auch nervöse Substanzen in der Regel nur in dünneren Fibrillen, welche dem Kreislauf der transportierenden Substanzen kaum einen Widerstand entgegensetzen, die Zelle durchziehen. Diese Fibrillen vereinigen sich da, wo es günstiger ist, zu dickeren widerstandsfähigeren Hauptfibrillen, zu dickeren Strängen. Nur dann werden sie durch breitere Bänder oder gar durch Membranen ersetzt werden, wenn dies aus bestimmten Gründen für die Zelle von grösserem Nutzen ist. Der Kampf ums Dasein lässt auch hier immer das Vorteilhafte, das Zweckmässige entstehen.

In der That erkennt man in vielen Zellen solche kreuz und quer im Zellinneren verlaufende Fibrillen, wie aus nebenstehender Figur 83 hervorgeht. Zwar glaubte Bütschli, die ganze Zelle sei von zahllosen Scheidewänden, Querwänden durchsetzt. Er sah im Protoplasma und im Zellkern eine Wabenstruktur und stellte sich aus Olivenöl und Rohrzucker Schäume her, welche mit dem Mikroskop beobachtet ganz analoge Bilder gaben (Fig. 83 B) wie die Zellstrukturen. Schon früher hat Quincke entsprechende Versuche mit Oelmembranen angestellt.

Indessen kann es sich hier stets nur um Aehnlichkeiten handeln. Flüssige Lamellen aus Oel sind Membranen, welche weniger der Bedingung leichter Durchlässigkeit für die Nahrung, für die transportierenden Substanzen genügen, als es eine Summe von

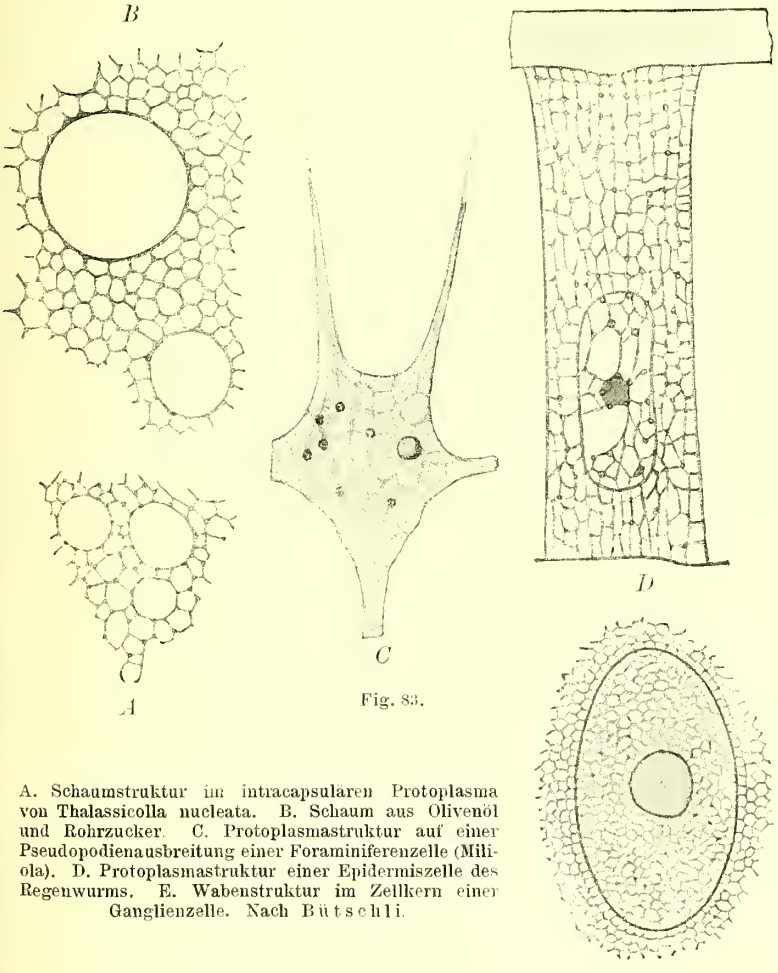


Fig. 83.

A. Schaumstruktur im intracapsularen Protoplasma von Thalassicolla nucleata. B. Schaum aus Olivenöl und Rohrzucker. C. Protoplasmastruktur auf einer Pseudopodienausbreitung einer Foraminiferenzelle (Miliola). D. Protoplasmastruktur einer Epidermiszelle des Regenwurms. E. Wabenstruktur im Zellkern einer Ganglienzelle. Nach Bütschli.

dünnen kreuz und quer durch das Zellinnere verlaufenden Fibrillen thut. Sie würden andererseits nicht diejenige Steifigkeit besitzen, welche den Membranen der organischen Reiche sonst in der Regel zukommt. Fistellenmembranen erfüllen dagegen diese letztere Bedingung.

Anpassungsfähigkeit der verdauenden Substanz.

Wie wir bereits hervorgehoben haben, sind die Substanzen, welche der Ernährung der übrigen Zellsubstanzen obliegen, ihrerseits abhängig von den letzteren. Sie dürfen nicht weniger Nahrung liefern, als zum Leben der Zelle und zu ihrer richtigen Fortpflanzung nötig ist, sonst unterliegt die Zelle im Kampf ums Dasein mit anderen günstiger ausgestatteten Zellen. Sie dürfen aber auch nicht zu viel Nahrung liefern, sonst werden die übrigen Zellsubstanzen zu wenig ausgebildet, zu wenig differenziert, weil sie um ihre Nahrung in keiner Weise kämpfen müssen. Wenn dann späterhin diese Zelle oder gleiche Nachkommen derselben unter ungünstigere Nahrungsverhältnisse versetzt werden, so vermögen sie nicht mehr mit so wenig, mit so ungünstiger Nahrung auszukommen, wie jene anderen weiterdifferenzierten, besser eingerichteten Zellen. Sie unterliegen also nunmehr im Kampf ums Dasein gegen dieselben. Ist freilich lange Zeit genügend Nahrung vorhanden, so siegt vorübergehend das Einfachere, das weniger Differenzierte über das Kompliziertere. Denn das letztere braucht zu seinem Aufbau einen längeren Zeitraum, es pflanzt sich weniger schnell und zahlreich fort, als das erstere. Weil eben die Nahrung reichlich genug da ist, nimmt die Zahl der weniger differenzierten Zellen so sehr zu, dass dieselben die weiterdifferenzierten fast an Menge erdrücken. Nur dann können die letzteren trotz ihrer Minderheit bestehen bleiben, wenn sie vermöge ihrer stärkeren Differenzierung neue Eigenschaften erhalten haben, welche ihnen sonst einen entsprechenden Vorteil vor den ersteren Zellen gewähren. Wegen der starken Vermehrungsfähigkeit jener weniger differenzierten Zellen muss aber zuletzt doch eine übermässige Zunahme derselben erfolgen. Es wird dann die Nahrung für ihre Gesamtheit spärlicher, und der Kampf um die Nahrung, um das Dasein beginnt. Nun werden die vorteilhafter differenzierten Zellen im Kampfe Sieger bleiben, sie werden die ungünstiger eingerichteten überleben. Zuletzt werden also doch die stärker differenzierten Zellen über die schwächer differenzierten den Sieg davon tragen.

Die Zellsubstanzen, welche die Nahrung der Zelle aufnehmen und verdauen, haben ein besonders starkes Anpassungs-

vermögen, weil sie nicht nur von der nicht immer gleichmässig zugeführten Nahrung, sondern auch von dem ungleichmässigen Nahrungsverbrauch aller übrigen Zellsubstanzen abhängig sind. Denn bald müssen sie die eine, bald die andere Nahrung reichlicher liefern können, je nach den Leistungen der Zelle. Soll die eine oder die andere Zellsubstanz sich neuen veränderten Bedingungen anpassen, sich also ihrer Qualität nach ändern, so braucht sie dazu eine entsprechend geänderte Nahrung. Mit einer solchen Zellsubstanz muss sich daher die nahrungaufnehmende, die verdauende Substanz entsprechend ändern, sie muss jene neue geänderte Nahrung aufnehmen und liefern können. Dadurch, dass eine bestimmte Zellsubstanz besonders stark arbeitet, muss die nahrungaufnehmende Substanz veranlasst werden, gerade die für dieselbe notwendige Nahrung besonders reichlich aufzunehmen und vermittelst der transportierenden Substanz ihr zuzuführen. Aendert sich die ausserhalb der Zelle befindliche Nahrungsflüssigkeit, so muss wiederum die nahrungaufnehmende Zellsubstanz sich entsprechend anpassen, also sich verändern, um die gleiche Nahrung auch fernerhin in das Zellinnere befördern zu können. Oder sie liefert nun eine neue etwas veränderte Nahrung, welche die übrigen Zellsubstanzen befähigt, sich mehr und mehr den äusseren Bedingungen anzupassen. In diesem Falle bester Anpassung, und nur in diesem, erhält die Zelle einen Vorteil über andere sonst gleichartige Zellen ohne diese bessere Anpassungsfähigkeit und sie siegt dann im Kampf ums Dasein über die letzteren.

So und noch in vielen anderen Fällen muss in erster Linie die nahrungaufnehmende, die verdauende Zellsubstanz den gegebenen äusseren Bedingungen sich anzupassen vermögen, sie muss passende Abänderungen in ihrer molekularen Zusammensetzung zu stande kommen lassen. Nur Zellen, deren verdauende Substanzen diese starke Anpassungsfähigkeit besitzen und stets das günstigste von der gebotenen Nahrung aufzunehmen vermögen, können selber anpassungsfähig sein. Sie werden sich also unter geänderten Lebensbedingungen am leichtesten fortpflanzen. In dieser Beziehung ist die Funktion der Nahrungsaufnahme eine überaus wichtige; denn die Nahrung unterhält nicht nur das augenblickliche Weiterleben der Zelle, sondern

sie leitet auch die Weiterentwicklung, die höhere Differenzierung derselben, die Anpassung an die Lebensbedingungen, denen die Zelle zu genügen hat.

Differenzierung mehrerer Zellen.

Die Zellsubstanzen im Zellinneren kämpfen unter einander einen Kampf um ihre Nahrung, um ihre eigene Existenz. Ist zwar Nahrung für sie alle in genügender Menge da, wird dieselbe reichlich genug in das Innere der Zelle befördert, so wird nur jede von den Zellsubstanzen durch Assimilation möglichst sich zu vergrössern, sie wird zu wachsen streben, und diejenige unter ihnen, welcher die Assimilation am leichtesten gelingt, wird den grössten Raum in der Zelle für sich beanspruchen. Je mehr aber die Zelle an Grösse zunimmt, um so schwieriger wird für sie die genügend reichliche Nahrungszufuhr, weil das Volumen der Zelle im allgemeinen stärker wächst, als ihre Oberfläche. Es kommt also doch einmal der Zeitpunkt, in welchem die Nahrung im Zellinneren spärlich wird, und nun beginnt der Kampf der Zellsubstanzen untereinander. Jede von ihnen sucht Nahrung an sich zu reissen, sucht die ihr selber gleiche Substanz durch Assimilation hervorzubringen. In diesem Kampfe wird sich schliesslich ein gewisses Mengenverhältnis der Substanzen herstellen und ein gewisses Gleichgewicht in ihrer Nahrungsaufnahme, welches abhängig ist von der Qualität und Quantität der Zellsubstanzen selber, von den äusseren Bedingungen, denen die Zelle genügen muss usf. Jede Zellsubstanz sucht zwar auf Kosten der übrigen die Nahrung an sich zu ziehen, aber ganz vernichtet wird dabei in der Regel keine von ihnen, weil sie eben alle in Korrelation zu einander stehen, weil sie sich in ihren Funktionen unterstützen müssen. Es stehen alle diese Substanzen in dem früher behandelten bestimmten Gegenseitigkeitsverhältnisse zueinander, in dem oft erwähnten Verhältnisse günstigster Resonanz, in welchem sie sich sogar gegenseitig, wenigstens zum Teil, zu erzeugen im stande sind. Nur so konnten die verschiedenen Substanzen in einer Zelle entstehen und bestehen bleiben.

Je nach der Arbeitsleistung, nach der Funktion, welche die Zelle zu verrichten hat, wird *eine* Zellsubstanz mehr in Anspruch genommen als alle anderen. Dadurch werden ihre

kleinsten Teilchen, ihre Molekeln in stärkere Bewegungen, in stärkere Zuckungen, ihre Atome in stärkere Schwingungen versetzt, die Molekularbewegung wird eine stärkere. Nach unserem dritten biologischen Fundamentalsatz hat diese Substanz das Bestreben, stärker zu assimilieren als alle anderen, seien nun ihre Funktionen physikalischer oder chemischer Art. Nur dann ist dieses Bestreben nicht von Erfolg gekrönt, wenn ihre kleinsten Teilchen infolge der Beanspruchungen in so heftige Bewegung versetzt werden, dass die Molekeln zerfallen, dass Dissoziation eintritt. Diejenige Substanz in einer Zelle, welche am meisten benutzt wird, welche am häufigsten zu funktionieren, zu arbeiten hat, assimiliert daher verhältnismässig am stärksten, wächst am stärksten, bis zu einer gewissen Grenze der Beanspruchung. Bei einem bestimmten Optimum ihrer Leistung wächst die Zellsubstanz und vergrössert sich am stärksten, während sie bei fortgesetztem Nichtgebrauch verkümmert und zerfällt.

Hat eine Zelle nur Reize zu leiten, sind die Funktionen ihrer übrigen Zellsubstanzen dagegen verschwindend gering, so assimiliert nur ihre nervöse Substanz in beträchtlichem Masse. Schliesslich wird die Zelle von nervöser Substanz fast ganz erfüllt, während die übrigen Substanzen auf das geringste Mass reduziert bleiben. Ebenso wird eine Zelle, welche nur Kontraktionen und Expansionen auszuführen hat, dadurch dass nur die kontraktile Substanz in ihr merklich assimiliert, zu einer kontraktilen Zelle, in welcher die übrigen Zellsubstanzen auf ihr Mindestmass beschränkt sind. In analoger Weise entstehen durch entsprechende Differenzierung Stützzellen, transportierende, verdauende, sezernierende Zellen usf. Sie alle enthalten nur die eine oder einige ihren Funktionen angepasste Substanzen in grösserer Menge, die übrigen ihnen ohne solche Spezialisierung, ohne ganz besondere Differenzierung zukommenden Substanzen dagegen nur in derjenigen Menge, welche dem für die Korrelation der Zellsubstanzen untereinander zulässigen Minimum entspricht.

D. Fortpflanzung der Zellen.

Fortpflanzung durch direkte Zellteilung.

Wächst eine Zelle über ihr normales Mass hinaus, so kommt eine Fortpflanzung zu stande. Jede einzelne Substanz, welche

sich in der Zelle befindet, vergrössert sich in ihrer Weise oder vermehrt sich. Sind Bläschen, Körnchen, Röhrchen, Fibrillen, Gastrulen im Zellinneren, so teilen sie sich infolge solchen Wachstums direkt in zwei gleiche Teile, oder sie knospen und lassen schliesslich indirekt doch zwei gleichartige Gebilde entstehen, oder sie vermehren sich durch ganz einfache Ablösung

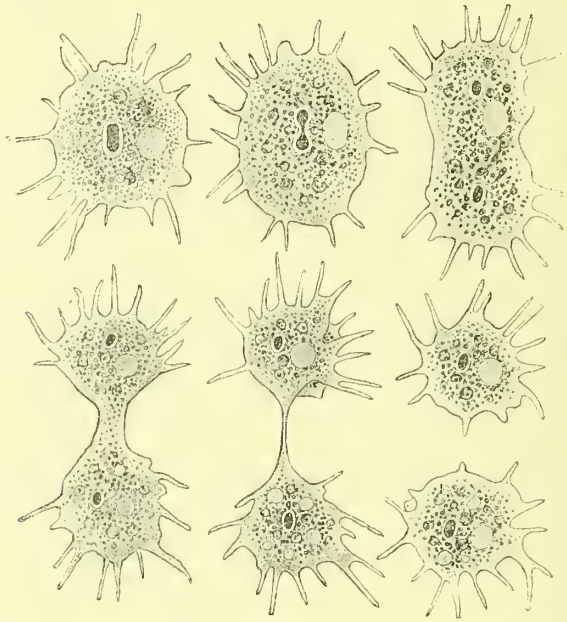


Fig. 84.

Amoeba polypodia in sechs aufeinander folgenden Stadien der Teilung. Der dunkle, hellumrandete Körper im Innern ist der Zellkern, der blasse Körper die kontraktile Vakuole. Nach F. E. Schulze.

von Fistellen oder Molekeln. Nur bei einzelnen der grösseren Zellbestandteile können wir diese Fortpflanzungsvorgänge unmittelbar übersehen, alle übrigen bleiben unseren Blicken wegen der Kleinheit der bt. Zellteile verborgen. Dennoch wissen wir, dass diese Vorgänge rein mechanische sind und dass sie in der Regel so ablaufen werden, wie wir sie im vorigen Kapitel wenigstens für die einfachsten vorstellbaren Gebilde abgeleitet haben. Sollen bei der Fortpflanzung zwei ganz gleiche Zellen entstehen, so müssen sich die im Zellinneren befindlichen Substanzen in erster Linie teilen, wenn sie nicht etwa vorher auf-

gelöst und erst nach der Zellteilung doppelt gebildet werden. Wir erkennen beispielsweise bei der Fortpflanzung einer Amöbe durch direkte Zellteilung (Fig. 84) zuerst die Verlängerung und hierauf die Zweiteilung des dunkeln Kernes, sodann während dieser Kernteilung die beginnende Verlängerung der ganzen mit Pseudopodien versehenen Amöbe, die Einschnürung und zuletzt die Zweiteilung derselben. Die blasse kontraktile Vakuole verlängert sich zwar, aber der Vorgang der Zweiteilung derselben ist in der Figur nicht angegeben worden. Vermutlich erfolgt entweder dieser Vorgang zu rasch, als dass er beobachtet werden könnte, oder die Vakuolenmembran ist zugleich Hülle für alle übrigen unmittelbar benachbarten Zellsubstanzen, in welchem Falle ohne weiteres auch an anderen Stellen der Zelle Vakuolen auftreten können.

Fortpflanzung durch indirekte Zellteilung.

Komplizierter als die in Figur 84 dargestellten Vorgänge der direkten Zellteilung sind, wie es scheint, diejenigen der indirekten, der sg. mitotischen Zellteilung, welche die Mehrzahl der pflanzlichen und tierischen Zellen durchmachen. Bei dieser Zellteilung sind zwar die Vorgänge für den protoplasmatischen Teil der Zelle ganz ähnliche, wie dies die Figur 84 zeigt, aber der Kern selber macht merkwürdige Veränderungen durch, auf die wir etwas näher eintreten wollen. Es bildet sich die „Kernspindel“ aus, welche bei jeder mitotischen Zellteilung mehr oder weniger leicht zu erkennen ist.

In Figur 85 sind einige Phasen einer solchen Kernteilung bei *Fritillaria imperialis*, einer *Liliacee* dargestellt. A zeigt den ruhenden Zellkern. Beim Wachstum des Kerns werden aus dem in A sichtbaren fadenförmigen Gerüst dickere Fäden, welche scheinbar ganz unregelmässig angeordnet sind, wie man in B erkennt. In beiden Figuren sind noch einige Nucleolen neben den Fäden wahrnehmbar. Die Kernfäden selber sind in C stärker vergrössert dargestellt und lassen hier ihrer ganzen Länge nach zahlreiche Querschichten erkennen.

Es beginnt nun die Bildung der charakteristischen Kernspindel. Die Kernmembran löst sich auf. Zwei Polkörperchen lassen sich erkennen, jedes von einem kleinen, aber immer grösser werdenden Strahlenkranz umgeben, die Pole der Kernspindel

bildend. Oft sind diese Polkörperchen so klein, dass sie überhaupt nicht direkt, sondern nur als die Zentren der Strahlenfiguren wahrgenommen werden. Die dicken Fäden des Kernes (in B und C) ordnen sich während der Bildung der beiden Strahlenfiguren nach und nach in der Mitte derselben an, mehr

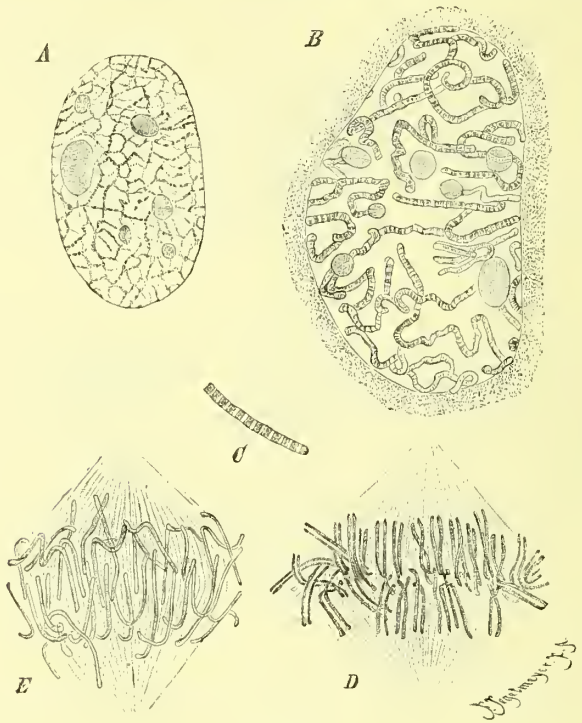


Fig. 85.

Fritillaria imperialis. Ein ruhender Zellkern und Teilungsphasen der Zellkerne, dem freigelegten protoplasmatischen Wandbelag des Embryosacks entnommen. Nach Strasburger (Botan. Praktikum, Fig. 191). A. Ein ruhender Zellkern. B. Ein dickfadiger, noch unsegmentierter Knäuel. C. Ein Stück dieses Kernfadens, stärker vergrössert. D. Eine Kernspindel mit längs gespaltenen Segmenten. E. Die Trennung und Umlagerung der Tochtersegmente. A, B, D und E 800mal, C 1100mal vergrössert.

oder weniger gleichförmig. Ferner teilen sie sich früher oder später ihrer ganzen Länge nach, so dass aus jedem Faden zwei fast parallel verlaufende Fäden entstehen. In D ist das Endstadium dieser hier beschriebenen Vorgänge dargestellt. Man erkennt da und dort die beiden parallel verlaufenden Fäden, welche aus einem einzigen dickeren Faden durch Teilung her-

vorgegangen sind. Die von den beiden Zentren ausgehenden Strahlenfiguren nennt man in ihrer Gesamtheit — wegen des spindelähnlichen Aussehens — die Kernspindel. Die Zahl jener bei der Kernspindelbildung auftretenden in ihrer Länge begrenzten Fäden, der „Kernsegmente", ist eine für jede Zellart genau bestimmte. Vor ihrer Teilung sind 24 Kernsegmente bei dem hier dargestellten Zellkern vorhanden, nach derselben 2mal 24 Kernsegmente. Nun gehen im weiteren Verlauf der Kernteilung die Kernsegmente auseinander. Von jedem aus einem Kernsegmente hervorgegangenen Segmentenpaar wandert das eine Segment gegen den einen Polkörper, das andere gegen den anderen Polkörper hin, wie aus der Figur 85 E zu erkennen ist. Somit erhält jedes Polkörperchen in seiner nächsten Umgebung 24 Kernsegmente, wie solche vor der beginnenden Kernteilung im ganzen Kerne vorhanden waren. Zuletzt bilden sich aus den beiden Gruppen von je 24 Kernsegmenten Fadengerüste, es entstehen neue Kernmembranen um dieselben, und zwei Kerne gehen aus dem Teilungsvorgang hervor, ganz ähnlich demjenigen, welcher in A als Ausgangsstadium der Kernteilung dargestellt worden ist.

Bei diesen Kernteilungsvorgängen erkennen wir vielleicht am besten, in wie ungemein komplizierter Weise die Zelle aus ganz verschiedenen Substanzen zusammengesetzt ist. Schon die vor unseren Augen sich abspielenden Vorgänge der Zellkernteilung sind verwickelt genug. Noch weit verwickelter ist ihre Gesamtheit in Wirklichkeit; denn nur der kleinste Teil aller in der Zelle vorhandenen Gebilde wird von uns wirklich gesehen und kann überhaupt sichtbar gemacht werden. Würden wir den ganzen Vorgang bis in die kleinsten Einzelheiten wahrzunehmen im stande sein, könnten wir jeden einzelnen Bestandteil der Zelle bei seinem Wachstumsvorgang für sich beobachten, so würden wir erkennen, dass die ganze Kernteilung, die ganze Zellteilung aus ungemein vielen einzelnen Teilungen sich zusammensetzt, wie wir solche früher schon bei den einfachsten, grösstenteils unsichtbar kleinen Gebilden abgeleitet haben. Obgleich wir also davon überzeugt sind, dass alle diese unsichtbar kleinen Zellbestandteile in der beschriebenen mehr oder weniger einfachen Weise sich teilen, können wir doch im gegebenen Falle die Vorgänge bei der Kernteilung nicht genau analysieren, weil eben weder Gestalt noch Art aller in einer Zelle vorhandenen Be-

standteile so, wie es notwendig wäre, durch Beobachtungen sicher gestellt sind.

Was wir aber zu sehen vermögen, das wollen wir uns mittels jener Figur 85 zurechtzulegen suchen. In dem ursprünglichen Kerne A erkennen wir eine Struktur, ganz ähnlich derjenigen, welche von Bütschli für den Zellkern einer Ganglienzelle gegeben (Fig. 83 E, S. 177) und als Schaumstruktur, als Wabenstruktur bezeichnet worden ist. Hier aber geht aus dem weiteren Verlauf der Kernteilung ziemlich einleuchtend hervor, dass es sich nicht um eine Wabenstruktur, sondern nur um ein Fadengerüst handeln kann, wie es von anderen Forschern gedeutet worden ist. Aus dem verwickelten Fadengerüste entstehen später die einfacheren leicht zu überblickenden Fäden in B, C, D, E, welche als Kernsegmente bezeichnet werden, und vermutlich auch die Fäden, welche die von den Polkörperchen radial ausgehenden Strahlenfiguren bilden.

Das in A dargestellte Fadengerüst wird, nach unseren bisherigen Erläuterungen (S. 176), aus verschiedenerlei Substanz entstehen; es können sich vorzugsweise kontraktile Substanzen und nervöse Substanzen, unter Umständen auch Stützsubstanzen zu fadenförmigen Strängen anordnen. Alle diese Substanzarten werden nämlich im Zellkern ebenso wie im Protoplasma jeder Zelle vorhanden sein. Die Vorgänge in den durchweg überaus kleinen Zellen sind nun zu feine, die Zellbestandteile selber zu klein, als dass wir mit Sicherheit jene Substanzen nachzuweisen vermöchten. Wir sind also auf Vermutungen angewiesen. Um aber den Zellteilungsvorgang anschaulich auseinandersetzen zu können, will ich bezüglich der sichtbaren Substanzen des Fadengerüsts, nur damit wir ein einfaches Schema haben, die Annahme machen, es seien dieselben bloss kontraktile Substanz und nervöse Substanz, beide Substanzen in Fadenform. Wir berücksichtigen also einstweilen nur zwei Zellsubstanzen bei der Behandlung dieser Kernteilung. Soll die kontraktile Substanz auf äussere Einflüsse hin den Zellkern deformieren können, so müssen ihre Fäden an passenden Stellen der Kernmembran befestigt sein; wirkt sie sogar auf die äussere Zellmembran, so reichen ihre Fäden bis dorthin. Soll andererseits die nervöse Substanz Reize von aussen nach innen leiten, so müssen auch ihre entsprechenden Fäden an der Kernmembran

schon vorhanden sein; einige von ihnen oder alle werden aber sogar durch das Protoplasma hindurch bis zu der äusseren Zellmembran sich erstrecken. Denn an dieser ihrer äussersten Hülle nimmt die Zelle äussere Reize auf. Die nervöse Substanz muss Reize auf die kontraktile Substanz übertragen; folglich hängen die beiden Fadensysteme der kontraktilen und der nervösen Substanz an bestimmten Stellen zusammen. Die nervöse Substanz leitet aber noch andere Reize, die nicht unmittelbar auf die kontraktile Substanz einwirken, nämlich Reize, welche die Stützsubstanz, die verdauende Substanz, die sezernierende Substanz, vielleicht sogar auch die transportierende Substanz beeinflussen. Mit allen diesen Substanzen hängt daher die nervöse Substanz zusammen.

Korrelation der Zellsubstanzen; nervöse Zentralstelle.

Wenn die aus Reizen aller Art resultierenden Wirkungen einheitliche sein sollen für die ganze Zelle, der Korrelation aller funktionierenden Zellsubstanzen, aller Organoide der Zelle entsprechend, so wird das ganze System aller in der Zelle verteilten Fäden nervöser Substanz eine Zentralstelle besitzen. Von diesen Fäden, welche in ihren feinsten Ausführungen ganz einfach gebaute Fibrillen sein werden, sind uns, wie wir früher zeigten (S. 81), auch relativ sehr dicke Fibrillen immer noch absolut unsichtbar; dennoch sind dieselben vorhanden und haben ihre ganz bestimmte Wirkung. Von jener Zentralstelle, von dem Zentralkörperchen aus, in welchem alle Fibrillen, alle Fäden, alle Stränge nervöser Substanz zusammenlaufen, werden die Vorgänge in der Zelle scheinbar geleitet; zentripetale Reize kommen dort an, sie bringen zentrifugale Reize hervor, welche dort ihren Ursprung nehmen. Auf gewisse Reize hin wird die kontraktile Substanz in Thätigkeit gesetzt, auf andere Reize hin die sezernierende, auf wieder andere Reize die verdauende Substanz, die Stützsubstanz usf.

Wir haben früher (S. 105) hervorgehoben, dass zwischen allen Substanzen einer Zelle ein gewisses Gleichgewicht sich herstellt, wenn die Nahrung in solcher Weise spärlich zugeführt wird, dass die Zelle in ihrer Gesamtheit weder zu- noch abnimmt, weder wächst noch zerfällt. In einer Zelle dagegen, welche so viel Nahrung erhält, dass sie sich fortwährend zu ver-

grössern vermag, besteht dieses Gleichgewicht nicht mehr. Die Substanzen streben einem anderen neuen Gleichgewichtszustand entgegen. Substanzen, welche bis dahin neben anderen bestehen konnten, verlieren nun ihre Beständigkeit, sie zerfallen, ganze Gebilde aus ihnen können sich auflösen. Andere neue Gebilde werden entstehen und erst wenn wieder eine gewisse Spärlichkeit der Nahrungszufuhr eingetreten ist, stellt sich allmählich jenes ursprüngliche Gleichgewicht neuerdings her. Diese langsamere Nahrungszufuhr mag zb. bewirkt werden durch Entstehen oder Dickerwerden von Membranen, durch welche die notwendige Nahrung hindurchtreten muss. In Zellen, welche fortwährend wachsen, fortwährend sich teilen, können wir jenen normalen Gleichgewichtszustand unter Umständen überhaupt nicht mehr erkennen.

Bildung der Kernspindel.

Nehmen wir an, der Zellkern A (Fig. 85) wachse durch Nahrungsaufnahme, die in ihm befindlichen Substanzen wachsen alle zusammen; jedoch werden im allgemeinen verschiedene Substanzen in verschiedenem Masse zunehmen. Wir wollen für unsere schematische Behandlung des Zellteilungsvorganges, für unsere beiden allein berücksichtigten Zellsubstanzen folgende Annahmen machen: Die dunkeln Fäden, in A zum Teil durch schwarze Punkte angedeutet, bestehen aus kontraktiler Substanz, die blassen dünneren Fäden aus nervöser Substanz. Bei der überreichlichen Nahrungszufuhr wachse nun in erster Linie die kontraktile Substanz und zwar, wie wir aus der Figur 85 B erkennen, besonders in die Dicke, vielleicht auch etwas in die Länge. Dieses vorwiegende Dickenwachstum muss ein mögliches sein, wenn die innerhalb der Fibrillenmembran befindliche Substanz stark zunimmt. Die Fibrillenmembran wächst dann insbesondere durch Intussusception, und dabei können sich unter Umständen die neu assimilierten Fistellen leichter nach dem Kreisumfang als nach der Cylinderachse zwischen die bereits bestehenden Fistellen der Fibrillenmembran einschieben. Die dickeren Fibrillen werden uns entsprechend leichter sichtbar (B). Aus ihnen gehen die Kernsegmente hervor, welche bei der Kernspindel besonders auffällig werden, und welche durch ihre ganz bestimmte, jeder Zellart normalerweise zukommende Anzahl sich auszeichnen.

Während die kontraktile Substanz, der Zellkern und die ganze Zelle in auffälliger Weise gewachsen sind, hat die nervöse Substanz in ihrem Wachstum mit denselben nicht Schritt halten können. Weil aber die Enden der letzteren an die Kernmembran bz. an die Zellmembran angeheftet sind, werden die nervösen Fibrillen, welche anfänglich (nach A) teilweise gekrümmt verliefen, angespannt durch die sich erweiternden Membranen. Wachsen die nervösen Fibrillen während des Wachstums der übrigen Substanzen vorerst noch gar nicht, so werden sie nicht nur gespannt, sondern merklich gedehnt, in die Länge gezogen. Die nervösen Fibrillen können sich in diesem Falle zuerst sogar unseren Blicken wieder entziehen, indem ihre Dicke, die ohnehin kaum nachweisbar war, nun ganz unter die Grenze der Sichtbarkeit hinabsinkt[1]) (Fig. 85 B).

Fängt aber auch die nervöse Substanz zu wachsen an, so ist leicht einzusehen, wo ihr Wachstum unbedingt beginnen muss. Wir haben bei Besprechung der Intensität der Assimilationsvorgänge erkannt, dass jede Substanz unter sonst gleichen Umständen an derjenigen Stelle verhältnismässig am ausgiebigsten assimiliert, an welcher ihre Molekeln in der stärksten, der Substanz noch zuträglichen zuckenden Bewegung sich befinden (S. 181). Die nervöse Substanz wird folglich da merklich zu wachsen anfangen, wo verhältnismässig die stärkste Reizleitung stattfindet. Nun laufen die nervösen Fibrillen im wesentlichen in einer Zentralstelle der Zelle zusammen (S. 187). In diesem Zentrum treffen alle möglichen Reize fortwährend ein, von ihm gehen alle möglichen Reize wieder aus. In das Zentrum laufen die dicksten nervösen Fibrillen, die dicksten nervösen Stränge ein. Im Zentrum selber wird demnach das Wachstum der nervösen Substanz seinen sichtbaren Anfang nehmen müssen. Es wachsen die nervösen Fibrillen besonders auffällig an derjenigen Stelle, an welcher sie in das Zentralkörperchen eintreten, sie werden dicker. Auch diese Fibrillen mögen vorzugsweise in die Dicke wachsen; sie gelangen dabei wiederum in den Bereich der Sichtbarkeit. Sie bleiben während ihres bevorzugten Dickenwachstums gespannt und bilden um das Zentralkörperchen herum einen Kranz von

[1]) Oder es können zunächst die optischen Eigenschaften ihrer Substanz von denjenigen ihrer umgebenden Substanz so wenig verschieden werden, dass Unsichtbarkeit eintritt.

Strahlen, welcher nur bis zu einem gewissen Abstande von seinem Zentralpunkte aus sichtbar ist, soweit nämlich, als die nervösen Fibrillen eine genügende Dicke besitzen, um noch wahrgenommen werden zu können. Mit dem zunehmenden Dickenwachstum des ganzen nervösen Fibrillensystems gelangen aber immer weiter vom Zentralpunkte entfernte Fibrillenteile zur Sichtbarkeit. Der vom Zentralkörperchen ausgehende Strahlenkranz scheint sich weiter und weiter auszudehnen. Die Fibrillen selber, also auch die Strahlen, bleiben dabei geradlinig, wenn sie kaum in die Länge wachsen, wenn aber die Zellmembran fortwährend sich ausdehnt, und zwar so stark, dass die nervösen Fibrillen stets gespannt sind.

Teilung des Zentralkörperchens.

Bei fortgesetztem Dickenwachstum der nervösen Fibrillen teilen sich dieselben nach Art der früher von uns behandelten Fibrillenteilung (S. 103), und zwar zuerst da, wo sie vorzugsweise zu wachsen begonnen haben, wo sie am stärksten wachsen, in unmittelbarer Nachbarschaft des Zentralkörperchens. Dort entstehen aus jeder Fibrille zwei solche, die Fibrillen spalten sich gleichsam, vom Zentralpunkte aus nach aussen fortschreitend, in zwei Fibrillen (Fig. 86, der äussere Kreis stellt die Zellmembran dar). Dementsprechend muss das Zentralkörperchen selber um so viel grösser geworden sein, dass es sich gleichfalls teilen kann, dass zwei neue Zentralkörperchen aus ihm hervorgehen. Jedes dieser Zentralkörperchen ist nun umgeben von seinem Fibrillenkranz, von seiner Strahlenfigur, und wir erkennen, dass unsere Zentralkörperchen nichts anderes sind als die in der Zelle gefundenen früher (S. 183) erwähnten Polkörperchen, welche die Endpunkte der Kernspindel bilden.

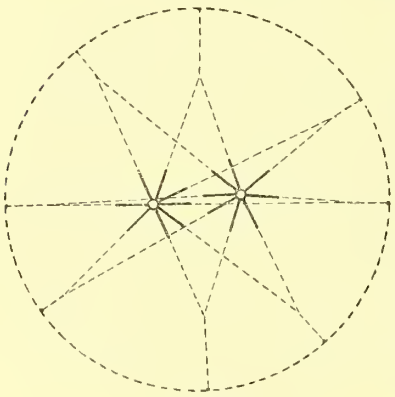


Fig. 86.

Nicht alle nervösen Fibrillen rings um die Polkörperchen wachsen in gleicher Weise. Für ihr Wachstum kommt viel-

mehr in Betracht, dass sie um so stärker durch Assimilation zunehmen, je mehr sie ihren Funktionen obliegen müssen (S. 181). Diejenigen Fibrillen, welche während der Kernteilung nicht merklich zu arbeiten haben, welche nicht wachsen, sich also auch nicht verlängern, ziehen die Polkörperchen nach sich, sorgen für gewisse möglichst gleich bleibende Abstände derselben von bestimmten Punkten der Zellmembran, an welchen sie angeheftet sind. Dadurch müssen die Polkörperchen beim Wachstum der Zellmembran in der Regel auseinandergezogen werden. Es kommt ferner in Betracht, dass nicht allen nervösen Fibrillen in gleicher Weise Nahrung zugeführt wird. Am günstigsten geht ganz allgemein ihr Wachstum von statten, wenn die Polkörperchen sich voneinander entfernen; denn in unmittelbarer Nachbarschaft müssen sie und ihre Fibrillen miteinander um die Nahrung kämpfen, während sie in grösseren Abständen voneinander sich viel leichter zu entwickeln vermögen. Eine einzelne Fibrille des einen Polkörperchens, welche unmittelbar am anderen Polkörperchen vorbeireicht, kann dabei im Nahrungserwerb gegen letzteres Polkörperchen gar nicht aufkommen; sie verkümmert und wird durch Assimilation des benachbarten Polkörperchens sogar aufgelöst (vgl. Fig. 86). Die Polkörperchen weichen also aus zwei Gründen auseinander: Jedes derselben sucht von dem einen von zwei diametral gegenüberliegenden Punkten der sich vergrössernden Zellmembran gleichen Abstand zu bewahren; sie beide sowie ihre Fibrillen wachsen gegen den Ort hin, wo ihre Nahrung in bequemerer Weise zu erhalten ist. Sie stossen sich scheinbar ab, spannen die eben aus einfachen Fibrillen durch Spaltung entstandenen Fibrillenpaare an, ziehen sie auseinander, wie es die Figur 86 deutlich macht, und es entstehen daraus die Strahlen der charakteristischen Kernspindelfigur.

Weitere Kernspindelvorgänge.

Wir stellen uns vor, das Wachstum der kontraktilen Substanz hänge mit dem Wachstum derjenigen nervösen Fibrillen zusammen, welche an die Fäden der kontraktilen Substanz angeheftet sind. Denn arbeitet die kontraktile Substanz, weil sie gereizt ist, so arbeitet auch die nervöse Fibrille, welche sie reizt. Kann also die kontraktile Substanz wegen dieses Arbeitens stärker assimilieren, als es im normalen Zustande der Zelle der Fall

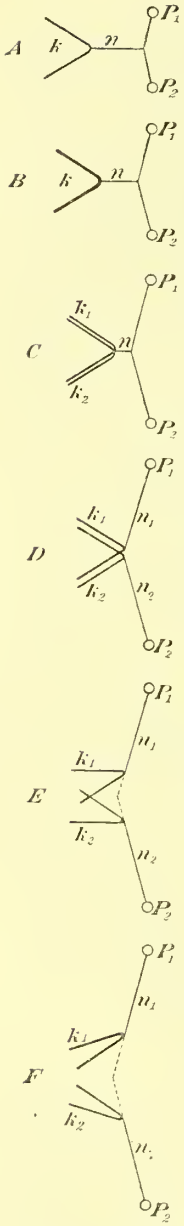


Fig. 87.

war, so werden auch die zugehörigen nervösen Fibrillen in entsprechender Weise stärker zu assimilieren vermögen. Bei der Kernteilung ist nun anfänglich die kontraktile Substanz stark gewachsen. Somit liegt die Vermutung nahe, die am stärksten gewachsenen nervösen Fibrillen der Strahlenkränze der Polkörperchen, die Kernspindelstrahlen seien die an die Fäden kontraktiler Substanz, an die Kernsegmente gehefteten nervösen Fäden.

Während der Entwicklung der Kernspindel teilen sich die Kernsegmente. Zugleich werden die Kernsegmente immer näher an diejenige Stelle herangezogen, an welcher sich die nervösen Fibrillen spalten. Die Figur 87 mag diesen Vorgang des Auseinanderweichens der Polkörperchen P_1 P_2, des Aufsplitterns, der Zweiteilung der zur Kernspindel gehörigen Fasern n_1 n_2, der Heranziehung und der Teilung der kontraktilen Fasern k_1 k_2 anschaulich machen in verschiedenen aufeinanderfolgenden Stadien A—G, bei den ersteren Figuren nur mit einem einzigen Fadensystem $n_1 n_2 k_1 k_2$, der Deutlichkeit halber. Weil die kontraktile Fibrille in ganz bestimmter Weise mit der nervösen zusammenhängt, wegen der Zusammengehörigkeit bz. der Gleichzeitigkeit ihrer Funktionierungen, so müssen die Teilungen, die Spaltungen beider Fibrillenarten einander gleichfalls entsprechen. Reicht nämlich die Aufsplitterung der nervösen Fibrille n eben an die kontraktile Fibrille k heran (Fig. 87 D), so ist die letztere entweder schon in zwei Teile gespalten, oder sie fängt sich nun in zwei Fibrillen zu spalten an, und die eine von diesen beiden Fibrillen muss an die zum einen Polkörperchen, die andere an

die zum anderen Polkörperchen laufende nervöse Fibrille geheftet sein. Folglich wird bei dem weiteren Auseinanderweichen der Polkörperchen von jedem ursprünglichen Kernsegmente, von jedem Mutterkernsegmente die eine Hälfte, das eine Tochterkernsegment an das eine Polkörperchen, das andere Tochterkernsegment an das andere Polkörperchen gebunden bleiben, in vollkommener Regelmässigkeit, ohne jegliche Willkür. Weil man aber die Fibrillen der nervösen Substanz nicht ihrer ganzen Länge nach sieht, so haben die regelmässigen planmässig gerichteten Bewegungen der Kernsegmente etwas Geheimnisvolles, etwas Rätselhaftes an sich.

Die Kernsegmente ändern ihre Gestalt während der Kernteilung in mehr oder weniger regelmässiger Weise. Ursprünglich schienen sie an der Kernmembran zu endigen (Fig. 85 A, B). Wenn sie sich weiterhin fortsetzten, so waren ihre Verlängerungen so dünn, dass wir dieselben nicht erkennen konnten, oder sie waren sonst von den umgebenden Zellbestandteilen optisch nicht unterscheidbar. Nun löst sich aber im Verlaufe der Kernteilung die Kernmembran auf, und wären die Kernsegmente an ihren Enden für die Folge freigegeben, so würden sie in allen möglichen Lagen um die Kernspindel herum sich gruppieren. Niemals würden so regelmässige Formen, so regelmässige Bewegungen der Kernsegmente entstehen, wie sie vielfach beobachtet worden sind. Wir sehen uns also zu der Schlussfolgerung gezwungen, dass die Kernsegmente — unsere kontraktile Substanz — in den Aussenraum des Zellkerns, in das Protoplasma der Zelle hineinreichen, dass ihre wirklichen, uns wegen ihrer geringen Dicke oder aus anderen Gründen unsichtbaren Endfibrillen an bestimmten Stellen ausserhalb des Kerns, wahrscheinlich an der äusseren Zellmembran selber befestigt sind. Bei der Bewegung der Kernsegmente sind es dann diese unsichtbaren Fäden, welche die Kernsegmente an ihren scheinbaren Enden mehr oder weniger angespannt erhalten, welche also die Formen der Kernsegmente, die Art ihrer Bewegungen mitbedingen. Dabei brauchen diese unsichtbaren Fäden gar nicht aus derselben Substanz wie die Kernsegmente, aus kontraktiler Substanz zu bestehen; vielleicht sind sie aus nichts anderem als aus Stützsubstanz, welche nur Zugkräfte überträgt, gebildet und aus diesem Grunde weniger leicht sichtbar als die

Kernsegmente selber. In solcher Weise lassen sich die durchweg beobachteten sehr regelmässigen Kernspindelfiguren (wie zb. D und E, Fig. 85) deuten.

Die verschiedenen Substanzen der Zelle müssen notwendigerweise mit verschiedener Geschwindigkeit, auch müssen die gleichen Substanzen in verschiedenen Stadien der Zellteilung verschieden schnell wachsen, wenn die für sie nötige Nahrung in entsprechend verschiedener Menge in der Zelle vorhanden ist. Bezieht zb. die kontraktile Substanz ihre Nahrung direkt aus dem Kernsaft, die nervöse Substanz dagegen aus einer verdauenden im Kern befindlichen Substanz, welche selber den Kernsaft erst umwandelt in Stoffe, die für die nervöse Substanz assimilierbar sind, so kann bei reichlicherem Nahrungszufluss in den Zellkern die kontraktile Substanz schneller ihr Wachstum beginnen als die nervöse Substanz. Die letztere muss warten, bis ihre verdauende Substanz, von welcher sie abhängig ist, sich so stark vermehrt hat, dass sie ihr eine genügend reichliche Nahrungsmenge zuführt. Oder bezieht statt dessen die nervöse Substanz ihre Nahrung besonders aus einer ausserhalb der Kernmembran befindlichen Substanz des Protoplasmas, so kann sie erst dann beträchtlich zu assimilieren anfangen, wenn im Verlaufe des Kernteilungsvorganges die Kernmembran sich aufgelöst hat. In diesem Falle suchen die Polkörperchen während ihres Wachstums möglichst diejenigen Stellen auf, an welchen sich besonders reichlich jene Substanz des Protoplasmas befindet. Es mag dies eine der Ursachen sein, dass die Kernspindel wenn möglich in diejenige Richtung sich einstellt, in welcher die Protoplasmamassen am reichlichsten vorhanden sind.

Ein- und Durchschnürung der Zelle.

Wegen der soeben erwähnten Einstellung der Kernspindel in die Richtung der grössten Protoplasmamassen wird dieselbe in der Regel in die Längsrichtung der Zelle selber zu liegen kommen. Schnürt sich dann die äussere Zellmembran ein vermöge des Wachstums der ganzen Zellmasse, teilt sich die Zelle in zwei Tochterzellen, so muss die Teilungsfläche beider Zellen durch die Kernspindel hindurchgehen. Indessen ist doch die Beziehung der Kernspindel zur neu entstehenden Zellmembran eine innigere. Die nervösen Fäden nn (Fig. 87) geben an den-

jenigen Stellen, an welchen sie in zwei Fäden aufsplittern, in den Stadien E, F, G Veranlassung zur Bildung einer neuen Kernmembran. Figur 88, in welcher drei aufeinanderfolgende Stadien der Kernteilung von Pollenmutterzellen der Fritillaria persica dargestellt sind, zeigt deutlich die Entstehung der Kernmembran. In A ist die Kernspindel zu sehen, die Tochterkernsegmente haben sich getrennt. In B erkennt man nach Strasburger bereits die Anfänge einer Scheibenbildung, der

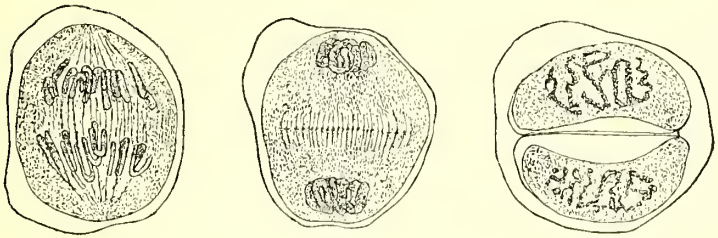


Fig. 88.

Drei Teilstadien der Pollenmutterzellen von Fritillaria persica. Nach Strasburger (Fig. 188). A. Auseinanderweichen der Tochtersegmente. B. Bildung der Tochterknäuel und der Zellplatte. C. Verlauf des Kernfadens in den Tochterkernen und ausgebildete Cellulosescheidewand. 800mal vergrössert.

„Zellplatte", und in C ist die Cellulosescheidewand fertig ausgebildet. Entfernen sich nachher die beiden Kerne voneinander wegen ihrer Einwirkung auf das sie umgebende Protoplasma und zugleich infolge des ganzen Zellwachstums, so schnürt sich die äussere Zellmembran so ein, dass jeder Kern in der Regel an seinem ganzen Umfange mit einem Teil des Protoplasmas in unmittelbarem Zusammenhang bleibt. Denn der Kern und dieser Teil des ihn umgebenden Protoplasmas bilden mehr oder weniger ein zusammengehöriges Ganzes, die Zelle ist inwendig schon in zwei Hälften geteilt, jede mit einem Kerne, bevor noch die Einschnürung der Zellmembran beendigt ist. Daher teilt sich die ursprüngliche Mutterzelle in zwei Tochterzellen, von denen jede ihren eigenen Kern erhält. In der Regel sind überdies beide Tochterzellen gleich gross.

Wachsen nun die Tochterzellen weiter und weiter, so bildet sich in jedem ihrer Kerne aus den nervösen und aus den kontraktilen Fibrillen wiederum das verwickelte Fadengerüst aus, wie wir dasselbe in dem ursprünglichen Kerne A (Fig. 85, S. 184)

fanden, von welchem wir ausgegangen sind. Wir gehen auf diese Veränderungen noch etwas näher ein. Mit der Neubildung einer Kernmembran werden nämlich die Kernsegmente und die Fäden der Kernspindel, also die kontraktilen und die nervösen Fibrillen an bestimmten Stellen der Kernmembran angeheftet. Wegen der immerwährend veränderten Bedingungen, unter welchen sich die Zelle entwickelt, wird aber der Nahrungszufluss nicht nur der Quantität, sondern auch der Qualität nach geändert. Denn ganz abgesehen von der aussen befindlichen Nahrungsflüssigkeit ändert sich doch auch die nahrungaufnehmende Zellmembran während des Zellwachstums. Konnten also vielleicht die nervösen Fibrillen zuerst nicht wachsen, bis ihre verdauende Substanz gewachsen war, welche ihnen die zur Assimilation nötige Nahrung lieferte (S. 194), so ist nun umgekehrt so viel dieser Nahrung aufgespeichert worden und wird immer noch erzeugt, dass jene allein weiter wachsen, wenn bei den übrigen Zellbestandteilen das Wachstum schon aufgehört hat. Aber auch aus anderen Gründen, zb. wegen starker Reizübertragungen, können die nervösen Fibrillen noch wachsen, wenn die Zellmembran, an welcher sie gleichfalls angeheftet sein müssen, sich nicht mehr wesentlich ausdehnt. Infolge eines fortgesetzten Längenwachstums dieser nervösen Fibrillen verlieren sich dann die Spannungen in ihnen. Die Fäden krümmen sich, die Strahlenfigur wird undeutlicher und sie kann sich unseren Blicken zuletzt ganz entziehen, wenn die entstandenen Krümmungen der genügend dünnen Fibrillen sehr unregelmässige geworden sind. Die Polkörperchen scheinen also zu verschwinden. Ein Dickenwachstum der nervösen Fibrillen macht uns die letzteren umgekehrt besser sichtbar. Wegen ihrer Krümmungen werden sie uns aber nunmehr in ihrer Gesamtheit nur noch als feines Fadengerüst erkennbar.

Auch die kontraktilen Fibrillen oder Fäden, die Kernsegmente, machen kompliziertere Krümmungen. Nehmen wir an, die Kernsegmente seien nicht nur zum Zwecke unserer schematischen Behandlungsweise, sondern wirklich kontraktile Substanz. In diesem Falle sind ihre Krümmungen leicht zu begreifen. Sie müssen doch die Kernmembran in dieser und in jener Richtung kontrahieren können; dann müssen sie aber auch an vielen Stellen der Kernmembran angeheftet sein und ver-

schiedene Bahnen einhalten, bald quer durch den Kern hindurch, bald längs der Kernmembran verlaufen. Besonders die längs der Kernmembran sich hinziehenden Fibrillen erscheinen in der Projektion oft noch stärker gekrümmt, als sie es wirklich sind. Wenn endlich im Kern noch andere mehr oder weniger feste Substanzen, wenn zb. verdauende, sezernierende, Stützsubstanzen bestimmter Struktur in ihm vorhanden sind, ohne sich durch ihre andere Färbung bei der nötig werdenden Vergrösserung deutlich abzuheben, so werden durch das nachträgliche Wachstum derselben die sichtbaren Fäden des Fadengerüstes gleichfalls beeinflusst; diese Fäden erhalten merkwürdige Krümmungen, deren Ursache wir nicht mit dem Mikroskop unmittelbar zu erkennen vermögen. In solcher Weise entsteht dann allmählich eine der Mutterzelle ganz ähnliche Tochterzelle mit dem komplizierten Fadengerüst, welches in den meisten Zellen namentlich durch die Kernsegmente, in vielen Zellen aber ausserdem noch durch eine entsprechende Struktur des Protoplasmas sichtbar gemacht wird.

Es ist durchaus nicht notwendig, dass die Kernsegmente in Wahrheit aus kontraktiler Substanz bestehen. Sie können ebensogut zb. eine verdauende oder eine sezernierende Substanz der Zelle sein, welche durch ihre Färbbarkeit besonders hervortritt. Nur zum Zwecke der schematischen Behandlungsweise habe ich sie kontraktile Substanz genannt, um an einem Beispiel zu zeigen, wie die Vorgänge ablaufen könnten. Aus was für Substanz die Kernsegmente in Wirklichkeit bestehen, das werden vielleicht im Laufe der Zeit biologische Untersuchungen ergründen können. Dagegen ist es wohl in Anbetracht der Zentren, in welche alle Spindelstrahlen zusammenlaufen, also der beiden Polkörperchen mit ihren Strahlenkränzen wahrscheinlich, dass diese Strahlen in der That von nervösen Fibrillen gebildet werden. Uebrigens kann es, wie ich schon früher hervorgehoben habe, nicht die Absicht eines Physikers sein, hier alle einzelnen Erscheinungen und Vorgänge in Lebewesen bis in die kleinsten Einzelheiten hinein aufdecken und erklären zu wollen. Es muss vielmehr genügen, hie und da ein Beispiel herauszugreifen und dasselbe etwas spezieller zu behandeln, um die Art der Anwendung dieser Theorie auf die Lebensvorgänge den biologischen Forschern deutlich zu machen.

In Zellen, in welchen wir die beschriebenen Vorgänge nicht zu erkennen vermögen, werden sie dennoch in ganz ähnlicher Weise vor sich gehen. Wir müssen uns eben stets erinnern, dass wir nicht alles sehen können, dass uns die kleinsten Gebilde stets unsichtbar bleiben, obwohl sie nach dem zweiten Kapitel bereits sehr komplizierte Formen anzunehmen im stande sind. Sehen wir doch bei vielen tierischen Zellen keine Zellmembran, auch wenn sicher eine solche vorhanden ist. Die Stützsubstanzverbindungen zwischen Kernmembran und Zellmembran, welche schon wegen der bestimmten Lage des Zellkerns in Bezug auf die ganze Zelle unzweifelhaft vorhanden sein müssen, vermögen wir in gar vielen Fällen gleichfalls nicht sichtbar zu machen. Und die Verlängerungen der Fäden, welche in ihrer Gesamtheit das Fadengerüst des Kerns zusammensetzen, gegen die äussere Zellmembran hin, erkennen wir auch nicht immer.

Nicht nur in der Periode verstärkten Längenwachstums der Fibrillen im Kern, sondern auch schon während der Bildung der Kernspindel wirken andere uns nicht unmittelbar sichtbare Substanzen von bestimmter Struktur auf die sichtbaren Fibrillen ein, verändern die Form derselben, so dass zb. die in Figur 87 einzeln dargestellten Kernspindelstrahlen $n_1 n_2$ nicht so, wie es dort angegeben ist, genau geradlinig verlaufen. Durch jene äusseren Einflüsse werden die Spindelstrahlen vielmehr etwas gebogen; sie behalten aber wegen der Spannung, welche in ihnen durch das Auseinanderweichen der Polkörperchen in gelindem Masse unterhalten wird, eine gleichmässige Krümmung bei, wodurch eben die Aehnlichkeit der Gesamtheit aller dieser Fibrillen mit einer Spindel hergestellt wird (Fig. 88). Später wird diese Spannung wieder vermindert (S. 196), so dass die Spindelstrahlen infolge jener äusseren Einflüsse stärkere Krümmungen annehmen. In diesem Falle legen sich manche Fibrillen zusammen zu Strängen, und es verschwindet, wie schon oben bemerkt wurde, nicht nur die Polfigur, sondern zuletzt erkennt man auch das Polkörperchen selber nicht mehr. An seiner Stelle wird unter Umständen ein dickster Strang, ein dickstes Fibrillenbündel sichtbar.

Die Kernspindelfigur ist nach O. Hertwig „eine Figur, wie um die Enden eines Magnets, die in Eisenfeilspäne eingetaucht sind“. In der That ist nach vielen Abbildungen, welche

von der Kernteilung gegeben werden, eine solche Aehnlichkeit unverkennbar. Wenn aber dadurch einzelne Forscher zu der Anschauung verleitet werden, es handle sich bei der Kernspindel wirklich um zwei magnetische Pole in den Polkörperchen, und die magnetischen Substanzen ordnen sich in die Kraftlinien derselben ein, so ist dies zweifellos ein Irrtum. Bei der beginnenden Kernteilung einer Samenmutterzelle von Salamandra maculata (Fig. 89) sieht man, dass die Kernspindel mit dem Bilde der magnetischen Kraftlinien keine weitergehende Aehnlichkeit hat. Die Kernspindel erscheint aussen mehr oder weniger scharf begrenzt, die Kraftlinienfigur lässt dagegen eine solche Begrenzung nicht erkennen. Sodann zeigt unsere Figur 89 an jedem Polkörperchen ein seitlich austretendes Strahlenbündel, dessen Form auf keine einfachen magnetischen Ursachen schliessen lässt. Die Pole eines Magnets sind ja überdies nur ideelle, keine wirklichen Punkte. Sie sind die Mittelpunkte zahlreicher von den magnetischen Molekeln eines Körpers (des Magnets) ausgehender Kräfte, deren Resultierende in diesen Punkten angreifend gedacht werden können. Nun nehmen wir aber nirgends in der Zelle einen magnetischen Körper wahr, welcher in den Polkörperchen endigen und so kräftige Wirkungen ausüben könnte, wie dies bei der Kernspindelbildung der Fall zu sein scheint. Wir finden in den Zellen auch keine elektrischen Ströme, welche analoge magnetische Wirkungen hervorrufen würden. Wären die Polkörperchen wirklich magnetische Pole, so müsste die Kernspindel in magnetischen Feldern regelmässig in die Kraftlinienrichtung des Feldes sich einzustellen suchen. Eine Einstellung der Kernspindel in die Inklinationsrichtung des Erdfeldes wäre gewiss schon beobachtet worden, wenn sie wirklich vorhanden wäre.

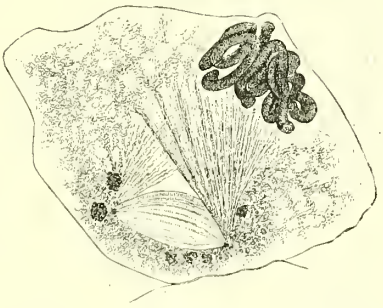


Fig. 89.

Kern einer Samenmutterzelle von Salamandra maculata in Vorbereitung zur Teilung. Anlage der Spindel zwischen den beiden Polkörperchen. Nach Hermann.

Fortpflanzung durch Zellknospung und durch Samenbildung.

Die Fortpflanzung der Zelle kann noch in anderer Weise zu stande kommen, als durch Teilung derselben in zwei gleiche Teile, sei nun diese Zellteilung eine „direkte“ oder eine „indirekte“. Schnürt sich nämlich von der Mutterzelle ein kleineres Stück als Tochterzelle ab, so vermehrt sich die Zelle durch Knospung. Teilt sich nur der Zellinhalt, namentlich der Kern, mehr und mehr in kleinere gleichartige Teile, ohne dass vorerst die Zellmembran von der Teilung betroffen wird, so entstehen Samen im Zellinneren, Sporen usf., welche nach dem Zugrundegehen der Zellmembran frei werden und zu ausgiebiger Vermehrung ihrer Art beitragen.

Präformation und Epigenesis.

Aus früheren Entwicklungen geht hervor, dass ein von einer Zelle abgeschnürtes kleineres Stück, eine Knospe, welche wir auch als Same, als Ei bezeichnen können, wenn sie sich von der Mutterzelle vollständig ablöst, nicht durchaus alle Substanzen schon in sich enthalten wird, welche im fertigen Organismus, in der fertigen Zelle notwendigerweise vorhanden sind. Denn von bereits vorhandenen können ganz neue Substanzen gebildet werden, wenn diese zu jenen in dem Gegenseitigkeitsverhältnisse der Resonanz stehen. Nur eine bestimmte Zahl von solchen Substanzen muss daher im Ei vorhanden sein, und diese Substanzen müssen in bestimmter Weise aufgebaut sein, in bestimmter Weise zusammenhängen, aneinandergelagert und geheftet sein, wenn unter den Umständen, unter welchen sich normaler Weise aus dem Ei ein dem mütterlichen ähnlicher Organismus entwickelt, wirklich ein solcher Organismus entstehen soll. Im Ei ist demnach allerdings eine gewisse Vorherbildung des aus ihm sich entwickelnden Organismus, eine gewisse „Präformation“ vorhanden. Jedes einfachste Organoid oder gar jeder Teil eines solchen kann aber nicht schon im Ei im kleinen vorhergebildet sein, wenn ja, wie oben bemerkt, nicht einmal alle Substanzen, welche chemisch und morphologisch im fertigen Organismus ausgebildet sind, im Ei selber enthalten sind. Vielmehr findet in einem gewissen Grade eine Nacherzeugung, eine

„Epigenesis“ der notwendigen im Ei noch nicht enthaltenen Substanzen und Gebilde statt. Solche entstehen zuerst in einer uns unsichtbaren Kleinheit, und erst wenn die neu erzeugten Gebilde ungefähr die Grösse des zweitausendsten Teils eines Millimeters erreicht haben, gelangen sie in den Bereich unserer optischen Wahrnehmbarkeit.

Regeneration.

Am Anfange dieses Kapitels sind Zellmembran, Protoplasma, Kern und Kernmembran als wesentliche Bestandteile der Zelle bezeichnet worden. Nach unseren weiteren Entwicklungen kommen wir zu der spezielleren Vorstellung, dass in der Zelle Stützsubstanzen, transportierende, verdauende, sezernierende, kontraktile, nervöse, vielleicht noch andere Substanzen zum Leben derselben unbedingt erforderlich sind. Wenn wir in den uns bekannten Zellen noch weiter auf ihre normalen Differenzierungen eingehen, so finden wir möglicherweise Tausende von Substanzen in ihnen, welche alle voneinander verschieden sind. Alle diese Substanzen können dann als wesentlich für das Leben der Zelle in ihrem normalen Zustande aufgefasst werden. Denn jede von ihnen hat ihren besonderen Zweck, jede hat ihre ganz bestimmte Funktion; fehlt sie in der Zelle, so haben wir eben nicht die normale Zelle vor uns.

Andererseits fanden wir bei der Behandlung der Fortpflanzung durch Samen, dass aus einem einfacheren Substanzenaggregat, welches nicht nur weniger Substanzen, sondern die vorhandenen Substanzen auch in einfacherer Anordnung enthält als die fertige Zelle, dennoch eine normale Zelle sich entwickeln kann, wenn ihrem Samen die nötige Nahrung zum Wachstum zugeführt wird. Im Hinblick auf die Keimesentwicklung, welche für jedes Lebewesen möglich ist, könnten wir also einen geringeren Teil von Substanzen als den obengenannten als wesentlich für die bt. Zellart bezeichnen, nämlich nur so viele, als im Samen schon vorhanden sein müssen, um eine normale Zelle daraus entstehen zu lassen. Freilich ist es nicht die Art der Substanzen allein, sondern auch ihre Gestaltung, ihre Verbindung untereinander, der ganze Aufbau des Samens, welcher in gleicher Weise als wesentlich für die Zellart zu betrachten ist. Wir müssen somit vermuten, dass der Same in der Regel die in

diesem Sinne für die Zelle wesentlichen Substanzen, alle nicht nur der Art, sondern auch ihrem Aufbau nach, enthalte, dass also die chemische und morphologische Gestaltung des Samens die notwendige und charakteristische Grundlage für eine Zellart sei.

Ist dies der Fall, so muss es möglich sein, einem Lebewesen, einer Zelle einen Teil ihrer Substanzen abzunehmen, ohne dass sie dadurch getötet wird. Wir müssten im stande sein, ihr quantitativ und qualitativ durch eine Operation sogar so viele Substanzen zu entreissen, aus ihr herauszuschneiden, dass schliesslich, im Grenzfall, nur noch das übrig bliebe, was im Samen ihrer Art nicht mehr entbehrt werden kann, wenn es uns gelänge, die richtigen Substanzen in der richtigen Zusammensetzung übrig zu lassen. Eine dermassen operierte Zelle würde bei passendem Nahrungszufluss wiederum zu einer normalen Zelle auswachsen, genau so wie der Same; die verletzte Zelle würde sich regenerieren. Jede Zelle, welcher man durch eine passende Operation einen geringeren Teil von Substanzen entnimmt, als soeben für den Grenzfall angenommen wurde, muss sich also um so mehr wieder zu einer normalen Zelle ergänzen, sie muss sich wirklich regenerieren können.

Die Fähigkeit, sich zu regenerieren, ist für viele Zellen, namentlich für manche Protisten nachgewiesen worden. Ich erinnere an die früher schon erwähnten Versuche von Klebs, welcher Zellen von Spirogyrafäden in kernhaltige und kernlose Stücke teilte. Er machte dabei die Beobachtung, dass die kernhaltigen Stücke sich vollständig regenerierten, während allerdings die kernlosen Stücke dies nicht im stande waren, obwohl sie noch eine Zeit lang weiter lebten und gewisse Lebensfunktionen ausführten. Auch Amöben, Rhizopoden und Infusorien regenerieren sich nach Nussbaum, Gruber, Hofer, Verworn, wenn ihnen zwar ein mehr oder weniger grosser Teil des Protoplasmas, nicht aber der ganze Kern entrissen wird. Der Stentor Roeselii (Fig. 90), eine zierliche Süsswasserinfusorienzelle, kann sogar mitten durch den Kern hindurch zerschnitten, in zwei Teile geteilt werden, und jeder Teil regeneriert sich zu einem vollständigen Infusorium. Diese Regenerationsfähigkeit von Zellabschnitten, welche den Kern oder doch einen Teil desselben enthalten, sowie die Thatsache, dass Samenzellen, Spermatozoen,

fast nur Kernmasse, dagegen sehr wenig Protoplasma besitzen, hat manche Forscher veranlasst, den Kern als das allein wesentliche Lebenselement der Zelle aufzufassen. Früher, ehe der Kern in fast allen Zellen nachgewiesen war, hatte man umgekehrt das Protoplasma als den wesentlichsten zum Leben unbedingt notwendigen Zellbestandteil betrachtet. Gewiss liegt auch hier, wie in so vielen Streitfragen, die Wahrheit in der

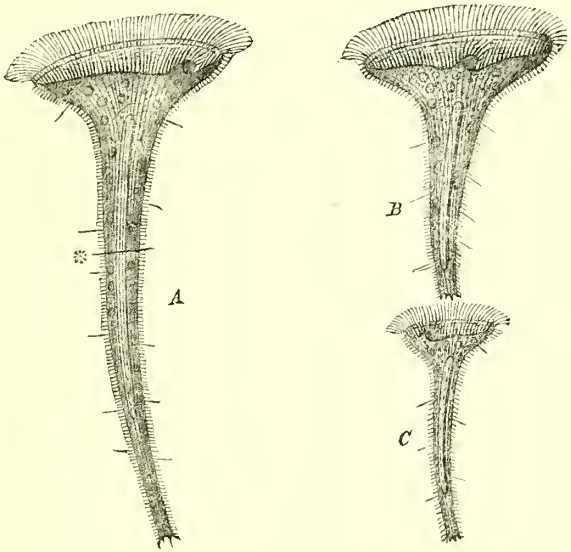


Fig. 90.

Stentor Roeselii, eine trompetenförmige Infusorienzelle. A quer zerschnitten, B und C die beiden Teilstücke haben sich zu vollständigen Stentoren regeneriert. Die helle langgestreckte Masse im Innern bezeichnet den Kern. Nach Verworn.

Mitte, das heisst sowohl der Kern, als auch das Protoplasma enthalten wesentliche zum Wachstum und zur Fortpflanzung unumgänglich notwendige Zellbestandteile. Für diese Anschauung, welche kürzlich auch von M. Verworn in den Vordergrund gestellt worden ist, spricht besonders der Umstand, dass alle Fortpflanzungszellen, Samen usf., welche nach unseren Entwicklungen ungefähr das zulässige Minimum der für die bt. Art nötigen Zellsubstanzen enthalten, stets Protoplasma und Kernsubstanz aufweisen. Würde es gelingen, von einer Zelle nur Kernsubstanz abzuschnüren, ohne Protoplasma, so würde zweifellos diese Kernsubstanz gleichfalls nicht zu einer fortpflanzungsfähigen Zelle sich regenerieren.

Urzeugung.

Wir haben aus unseren Entwicklungen im zweiten Kapitel den Schluss gezogen, dass schon aus einer einzelnen entsprechend komplizierten Molekel die damals behandelten überaus komplizierten Gebilde entstehen, wenn die passende Nahrung dazu da ist, wenn alle notwendigen Lebensbedingungen vorhanden sind. Ebenso können und müssen wir folgern, dass aus dem Grundstock, welcher durch eine einzige passende Molekel gegeben wird, bei passender Nahrung eine ganz beliebig komplizierte Zelle sich aufzubauen vermag. Denn aus den Atomen setzen sich bei ihren Zusammenstössen Molekeln zusammen, in der Regel mehr einfache als komplizierte. Aber im Kampf ums Dasein unter den Molekeln werden hie und da, zb. unter bestimmten Temperaturverhältnissen, unter bestimmter Belichtung, gewisse sehr komplizierte Molekeln als Sieger hervorgehen. Aus diesen Molekeln bilden sich Fistellen, wie wir dieselben beschrieben haben, weil eben jede Molekel durch Assimilation ihresgleichen wieder zu erzeugen sucht, wenn die passende Nahrung dazu da ist, wenn die passenden Molekeln zugegen sind, welche sich zerlegen, in jene anderen Molekeln sich umwandeln lassen. Unter solchen Umständen bilden sich sodann Membranen aus den Fistellen. Im Inneren einer geschlossenen Membran entstehen neue Substanzen, welche, wie auch die Membran selber, recht komplizierte Gebilde werden können, wenn nur immer zur rechten Zeit die richtige Nahrung der Quantität und der Qualität nach herbeigeführt wird. In analoger Weise kann aus der einzigen Molekel eine Zelle hervorgehen, ein Protist oder eine Eizelle, aus welcher später unter passenden Nahrungsbedingungen ein ganzer Zellenstaat, eine vollständige Pflanze oder ein in ungemein vielfacher Weise differenziertes höheres Tier sich entwickelt.

Demnach ist in der That die Möglichkeit vorhanden, dass durch sg. Urzeugung (vgl. S. 129) auch der höchstentwickelte Zellenstaat, das höchststehende Tier sich aufbaue, aus einfacher unorganisierter Materie. In Wahrheit kommt diese Urzeugung sozusagen unter unseren Augen jederzeit zu stande, wir sehen sie aber nicht und wir erkennen sie nicht als Urzeugung an. Dennoch könnten wir sie als eine solche auffassen.

Um dies einzusehen, verfolgen wir beispielsweise die Keimesentwicklung irgend eines Tieres in Gedanken rückwärts.

Aus dem Ei entsteht das junge Tier, wenn die passende Nahrung im Ei vorhanden ist, bz. wenn sie demselben fortwährend zugeführt wird. Das Ei seinerseits ist im Muttertier zur Reife gelangt, ganz allmählich, mit der Entwicklung des Muttertieres aus einem ähnlichen Ei. In diesem Anfangszustande des Muttertieres selber war jenes spätere Ei nicht als entsprechend kleineres, aber bereits fertig entwickeltes Ei, sondern nur als ein Aggregat von Substanzen vorhanden, welche während des Wachstums des Muttertieres unter dem Zutritt passender Nahrung immerfort gleichartige Substanzen assimilierten, bis zuletzt im ausgewachsenen Muttertier das ausgewachsene reife Ei entstanden war. Wir haben aber bei der Untersuchung des Aufbaus komplizierterer Gebilde erkannt, dass eine Substanz eine neue, ganz von ihr verschiedene, dass zwei Substanzen zusammenwirkend eine dritte, mit ihnen in dem Gegenseitigkeitsverhältnisse günstigster Resonanz stehende Substanz neu erzeugen können usf. (S. 105). Wären also im reifen Ei des betrachteten Tieres beispielsweise in der Regel 10000 ganz verschiedene Substanzen vorhanden, so würde das entsprechende Substanzenaggregat, aus welchem jenes Ei — zugleich mit dem Muttertiere aus dessen Ei — sich allmählich entwickelt hat, nur etwa aus 1000, vielleicht aus noch weniger verschiedenen Substanzen bestehen müssen. Im Ei, aus welchem das grossmütterliche Tier hervorgegangen ist, bildet ein noch kleineres Substanzenaggregat die ursprüngliche Grundlage, auf der unter fortwährendem Zutritt passender Nahrung jenes zuerst betrachtete Ei nach und nach aufgebaut worden ist. Gehen wir noch um einige Generationen weiter zurück, so kann bald das Substanzenaggregat, welches als Ursprung jenes betrachteten Eies aufzufassen ist, nur noch Molekulargrösse besessen haben, es muss zu allererst eine einzige Molekel gewesen sein. Diese Molekel selber wurde durch Assimilation aufgebaut aus Atomkomplexen, aus einzelnen Atomen.

Aus Atomen bildete sich also die komplizierte Molekel durch Assimilation, etwa von benachbarten gleichartigen Molekeln aus, weil die passende Nahrung dazu da war. Die Molekel assimilierte ihresgleichen, es entstanden Fistellen, Membranen; eine zweite, eine dritte neue Substanz wurde gebildet. Immer

mehr neue notwendige Substanzen kamen zu der ursprünglichen hinzu, neben der fortschreitenden Assimilation neu erzeugt in den verschiedenen aufeinander folgenden Generationen, durch die bt. Muttertiere selber. Sie entstanden aus Nahrung, welche unter bestimmten äusseren Einflüssen, beispielsweise bei bestimmter konstanter Temperatur usf., von diesen Tieren fortwährend dem schon bestehenden Substanzenaggregat zugeführt werden musste. So sorgen die Tiere selber, es sorgt ihre Organisation dafür, dass für das durch mehrere Generationen hindurch aus kleinsten Anfängen, aus einer einzelnen Molekel, aus Atomen sich entwickelnde Ei die passende Nahrung stets zugeleitet wird, dass auch die übrigen notwendigen Bedingungen, unter welchen allein Assimilation und Neubildungen zu stande kommen, stets erhalten bleiben.

Ohne den beschriebenen Umweg durch gleichartige Lebewesen hindurch, also nur durch unmittelbare Urzeugung, ohne die Beihilfe irgend welcher anderer Lebewesen ist aber eine Entstehung höher entwickelter Wesen eine fast unendlich unwahrscheinliche. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine hochkomplizierte Molekel sich aus freien Atomen bei ihren Zusammenstössen unmittelbar bilde, ist schon eine wesentlich geringere als diejenige für die Bildung einfacher Molekeln. Sollen nun immer höher differenzierte Lebewesen aus solchen Molekeln hervorgehen, mit immer mehr neu auftretenden Substanzen, so muss in entsprechender genau bestimmter Weise Nahrung bald in dieser bald in jener Qualität und Quantität zugeführt werden, die Entwicklung muss bald unter diesen, bald unter jenen äusseren Bedingungen, wie Temperatur, Feuchtigkeit, Licht usf., erfolgen. Der Zufall, dass in der Natur alle diese Bedingungen von selbst zusammentreffen, wird immer unwahrscheinlicher, je höher differenziert das Gebilde ist, welches aus jener Molekel spontan entstehen soll. Schon bei den allerkleinsten, uns noch gar nicht sichtbaren Gebilden treffen sämtliche zu einer solchen Urzeugung notwendigen Bedingungen mit ungemein geringer Wahrscheinlichkeit einmal zur richtigen Zeit ein, geschweige denn bei den kleinsten uns sichtbaren Lebewesen, den Bakterien, oder bei grösseren Zellen, oder gar bei Zellenstaaten. Nur die Möglichkeit, in mathematischem Sinne gesprochen, dass einmal alle diese ungeheuer vielen Zufälligkeiten zusammentreffen

könnten, welche zur Urzeugung eines uns sichtbaren Lebewesens führen würden, kann nicht bestritten werden, wenn auch vielleicht Millionen und Millionen von Jahren dazu nötig sein würden, wenn es uns auch ohne allen Zweifel niemals gelingen wird, eine solche Urzeugung künstlich hervorzubringen. Denn zu einem derartigen Unternehmen sind uns die Substanzen, ihr Zusammenhang und Aufbau in keinem Lebewesen genügend bekannt. Daher entsteht unter unseren Augen ein Organismus stets nur durch Fortpflanzung aus einem gleichartigen Organismus. Es ist also verständlich, dass Harvey seinerzeit mit vollem Recht den Satz aufstellen konnte: „omne vivum ex ovo“ und dass dieser Satz, als man später tieferen Einblick in die Vorgänge erhielt, welche sich in den Zellen abspielen, von Virchow umgemodelt wurde in: „omnis cellula e cellula.“

E. *Litteratur.

Wenn wir uns die Ergebnisse biologischer Forschungen genauer ansehen, finden wir überall zahlreiche Bestätigungen der Vorstellungen, welche aus unserer Theorie gefolgert werden müssen. Auf einige Berührungspunkte thatsächlicher Befunde mit dieser Theorie will ich hier noch besonders hinweisen, indem ich meinen Vergleichen Angaben aus den im folgenden namhaft gemachten Werken zu Grunde lege. Die neuesten, erst im Jahre 1898 erschienenen Auflagen von einigen dieser Werke habe ich indessen nicht mehr studieren können. Ich suchte aber meine der früheren Auflage entnommenen (nicht immer wörtlich zitierten) Angaben in denselben auf und setzte die bt. Seitenzahlen in Klammern hinter diejenigen der älteren Auflagen.

(BD.) A. A. Böhm u. M. v. Davidoff, Histologie des Menschen, Wiesbaden 1895. (2. Aufl. Wiesbaden 1898.)
(CC.) C. Claus, Lehrbuch der Zoologie, 2. Aufl. Marburg und Leipzig 1883.
(EH.) E. Haeckel, Natürliche Schöpfungsgeschichte, 8. Aufl. Berlin 1889. (9. Aufl. Berlin 1898.)
(EH_1.) E. Haeckel, Anthropogenie, 4. Aufl. Leipzig 1891.
(LH.) L. Hermann, Physiologie, 11. Aufl. Berlin 1896.
(OH_1.) O. Hertwig, Die Zelle und die Gewebe I, Jena 1893.
(OH_2.) O. Hertwig, Die Zelle und die Gewebe II, Jena 1898.
(OH_3.) O. Hertwig, Zeit- und Streitfragen der Biologie I, Jena 1894.

(LB.) [H. Landolt u. R. Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen, 2. Aufl. Berlin 1894.]
(PP.) [P. Poirier, Traité de l'Anatomie humaine, Tome II, Paris.]
(SN.) E. Strasburger, F. Noll, H. Schenck, A. F. W. Schimper, Lehrbuch der Botanik, 2. Aufl. Jena 1895. (3. Aufl. Jena 1898.)
(MV.) M. Verworn, Allgemeine Physiologie, 2. Aufl. Jena 1897.
(MV_1.) M. Verworn, Die Protisten, Jena 1889.
(AW.) A. Weismann, Ueber die Vererbung, Jena 1883.
(AW_1.) A. Weismann, Allmacht der Naturzüchtung, Jena 1893.
(AW_2.) A. Weismann, Aeussere Einflüsse als Entwicklungsreize, Jena 1894.
(AW_3.) A. Weismann, Neue Gedanken zur Vererbungsfrage, Jena 1895.
(AW_4.) A. Weismann, Ueber Germinalselektion, Jena 1896.
(AW_5.) A. Weismann, Hypothese einer Vererbung von Verletzungen, Jena 1889.

Der Einfachheit halber sollen die Hinweise auf diese Werke für die Folge nur mittels der neben dieselben gesetzten Anfangsbuchstaben der Autoren gegeben werden, gefolgt von der bt. Seitenzahl. Wenn nur die Seitenzahl mit dem Buchstaben S. angegeben ist, wird damit auf vorliegendes Buch selber Bezug genommen.

Die einfachsten Verbindungen von Atomen zu Molekeln treffen wir im unorganischen Reiche an. Hier überblicken wir noch den Zusammenhang der Atome, wir können die Konstitution der Molekeln mit mehr oder weniger grosser Sicherheit angeben. Zu den hochkomplizierten organischen Substanzen aufsteigend, verlieren wir dagegen bald jedes Urteil über den Aufbau der Molekeln aus Atomen. Auf Grund von chemischen Analysen ist die Zusammensetzung einer Eiweissmolekel zb. durch die chemische Formel $C_{72}H_{106}N_{18}SO_{22}$ dargestellt worden (OH_1. 16). Schon viel einfachere Molekeln als diese sind ihrer chemischen Konstitutionsformel nach vollständig unbekannt; wir dürfen also um so weniger erwarten, bei Eiweissmolekeln angeben zu können, in welcher Weise die einzelnen Atome aneinandergekettet sind. Dessenungeachtet sind aber die Bindungen in solchen Molekeln bestimmt geregelte, die Molekeln sind durchaus nicht zufällige Zusammenlagerungen, Zusammenballungen von Atomen. Nur ganz bestimmte Verbindungen von Atomen zu Molekeln sind unter gegebenen Verhältnissen möglich, und diese stellen sich wirklich her. Denn die organischen Verbindungen in Muskel-, Nerven-, Drüsensubstanzen usf. sind stets als die zweckmässigsten durch Selektion entstanden (AW_4. 66). Das

Lebende bleibt nur fortpflanzungsfähig, wenn es zweckmässig ist. Die Nützlichkeit ist das leitende Prinzip in der Selektionstheorie (AW_1. 2).

Weil der chemischen Formel $C_{72}H_{106}N_{18}SO_{22}$ und jeder anderen Formel solch einer komplizierten Molekel eine ungeheure Zahl von Isomerien entspricht, können möglicherweise zahlreiche ganz verschiedene Eiweissmolekeln gleicher prozentischer Zusammensetzung in verschiedenen organischen Wesen vorkommen. Es sind chemisch und physikalisch ganz verschiedene Eiweissmolekeln von der Formel $C_{72}H_{106}N_{18}SO_{22}$ denkbar, so dass dem einen organischen Wesen eine ganz bestimmte von diesen Eiweissmolekeln, einem anderen Wesen dagegen eine ganz andere isomere Eiweissmolekel zukommt. Ferner sind nicht alle organischen Stoffe, welche wir in der Kategorie der Eiweisse zusammenfassen, aus gleichviel gleichartigen Atomen zusammengesetzt. Es giebt Eiweisse, welche ganz andere chemische Formeln besitzen als die obengenannte. Wir müssen uns also vorstellen, dass in jeder Art von organischen Wesen die komplizierteren Molekeln derselben, zb. eben die Eiweissmolekeln, zwar ganz bestimmte sind, von bestimmten chemischen Konstitutionen, dass aber diese Konstitutionen mit der „Art" variieren, dass verschiedene Arten niemals durchweg aus genau den gleichen Molekeln aufgebaut sind.

Kennen wir auch nicht die Art der Aneinanderlagerung der einzelnen Atome in den kompliziertesten Molekeln, so haben wir doch erkannt, dass Atomgruppen, welche in ihrer äusseren Gestalt annäherungsweise Stäbchen von trapezförmigem Querschnitt entsprechen, zu ringförmigen Gebilden sich zusammenlagern können, zu Hohlcylinderchen, Röhrchen, welche wir „Fistellen" genannt haben. Solche Fistellen sind in der Regel um so stabiler, je geringer der Durchmesser ihres Hohlraumes ist. Besitzt aber dieser Durchmesser eine genügende Grösse, so werden die Fistellen und die Gebilde, welche aus regelmässig nebeneinandergelagerten Fistellen bestehen, wie zb. Membranen, durchlässig für andere frei bewegliche Molekeln von Gasen oder von Flüssigkeiten. Für Wasser, dessen Molekeln wegen ihres geringen Atombestandes zu den kleinsten gehören, sind fast alle organischen Substanzen durchlässig. Daraus erklärt sich ein Teil des bekannten grossen Wassergehaltes in organisierten Sub-

stanzen, zb. im Protoplasma (OH_1. 16). Viel Wasser ist im Organismus, teils chemisch gebunden, teils als Lösungsmittel (MV. 117). Tropfbar flüssiges Wasser ist für jeden Organismus nötig (EH_1. 451), auch für Protisten. Es ist die Durchlässigkeit organisierter Materie für Wasser eine wichtige Eigenschaft, welche uns lehrt, dass diese Materie, soweit sie nicht selber flüssig ist, wirklich aus Fistellen besteht. Die Fistellenhohlräume können so eng sein, dass Wassermolekeln in dieselben nur einzudringen vermögen wegen der heftig schwingenden Bewegungen, in welchen sich unter normalen Temperaturverhältnissen alle Atome der Molekeln und alle Atomgruppen der Fistellen befinden. In demjenigen Augenblicke dringen sie nämlich in die Fistellenhohlräume ein, in welchem nahezu alle Atomgruppen der Fistelle auseinanderschwingen. Durch eine solche Wasseraufnahme werden aber die Fistellen aufgetrieben, ohne deswegen ihren Zusammenhalt zu verlieren oder auch nur zu vermindern (S. 59). Die Fistellen quellen auf, die ganze Fistellenmembran oder die ganze Substanz, welche aus Fistellen aufgebaut ist, quillt auf. Eine Auflösung der Substanz, eine Ablösung der einzelnen Molekeln derselben durch das eindringende Wasser findet dabei nicht statt, wenn die Fistellenhohlräume gross genug sind und wenn das Wasser nur in diese Hohlräume (h h Fig. 18 S. 55) eindringt, nicht in die Zwischenräume (i i) zwischen benachbarten Fistellen. Die Quellungsfähigkeit und die Unlöslichkeit in Wasser werden als die Haupteigenschaften der organisierten Körper bezeichnet (OH_1. 49). In der That wird durch das Imbibitionswasser das Volumen vergrössert, ohne dass dadurch geringere Festigkeit hervorgerufen würde (SN. 215 [214]).

Andere Fistellenarten können für andere Flüssigkeiten als für Wasser quellbar sein, namentlich diejenigen hochkomplizierter organischer Verbindungen, zb. solcher, welche sich überhaupt nur in organischen Flüssigkeiten von kompliziertem Molekelbau zu erhalten vermögen. Solche Fistellen werden in der Regel grössere Hohlräume aufweisen als diejenigen, welche nur in Wasser quellbar sind. Dementsprechend müssen jene labiler sein, leichter sich zersetzen, leichter sich umsetzen lassen als diese. Die überaus starke Zersetzlichkeit sehr vieler lebender organischer Substanzen ist bekannt genug. Es werden des-

halb die Atomverbindungen solcher Substanzen als „Labilverbindungen“ bezeichnet (AW_4. 67, MV. 487); die chemische Verbindung von Hämoglobin mit Sauerstoff ist beispielsweise quasi labil infolge einer Sauerstoffspannung (LH. 46). Die Molekeln organischer Substanzen sind alle mehr oder weniger labil, weil nach Kekulé keine Molekel in organischen Stoffen so viel Sauerstoffatome hat, dass in ihr aller Kohlenstoff zu Kohlensäure und aller Wasserstoff zu Wasser verbrennen könnte (MV. 309). Sind also die Fistellen unbeständig, so reissen losgelöste Atomgruppen derselben Sauerstoff an sich, verbrennen und gehen in stabilere Verbindungen über.

In der Natur begegnen wir sehr stabilen organisierten Substanzen teils im Pflanzen-, teils im Tierreiche. Die Fistellen derselben werden durch die Flüssigkeit, in welcher sie aufquellen, gar nicht oder doch kaum in ihrem Zusammenhalte gelockert. Noch weniger werden in der Regel Fistellen von ihren Nachbarn getrennt, also „gelöst“. Quellung besteht besonders bei den Cellulosegebilden, ohne auch nur an das Leben gebunden zu sein. Infolge ungleichmässiger Quellung benachbarter Teile beobachtet man zahlreiche Bewegungserscheinungen, sogar noch die Entfaltung völlig abgestorbener Organismen, beispielsweise der Rose von Jericho (MV. 228). Sehr bedeutungsvoll ist für das Leben vieler Organismen die Eigenschaft der Sporen, der Samen und Eier, oft auch der ganzen ausgewachsenen Lebewesen, unter ungünstigen äusseren Lebensbedingungen ihre Lebensfunktionen einzustellen, unter günstigeren Bedingungen dieselben wieder aufzunehmen. Es giebt verschiedene niedere Tiere, die völlig eintrocknen, ohne zu sterben (Fig. 91). Jahrelang können sie in dieser Weise leblos bleiben. Bei der Benetzung leben sie wieder auf (Anabiose) (MV. 133). Sporen der Bakterien, Cysten der Rhizopoden und Infusorien, Pflanzensamen gehören zu den Dauerzuständen der Organismen (MV. 286). Pflanzensamen können vielleicht über 100 Jahre lang keimfähig bleiben (MV. 134). Kochs hat keimfähige Samen monatelang dem Vakuum ausgesetzt. Die Samen blieben keimfähig, ohne zu atmen oder Kohlensäure abzugeben (MV. 135). Solche Samen sind leblos, aber nicht tot. Viele Samen sind von einer Korksubstanz umgeben, welche für Wasser nicht unbedingt durchlässig ist. Andere von diesen leblosen Organismen mögen

von anderen Substanzen eingehüllt werden, welche den Austausch dieser oder jener im Inneren vorhandener Substanzen mit der Aussenwelt erschweren. Undurchlässig für Wasser sind aber solche Substanzen nicht. Beispielsweise ist die Korksubstanz quellbar in Wasser, besonders auffällig bei höherer Temperatur. Daraus dürfen wir schliessen, die Fistellenhohlräume der Korksubstanzen seien so eng, dass Wassermolekeln eben noch in

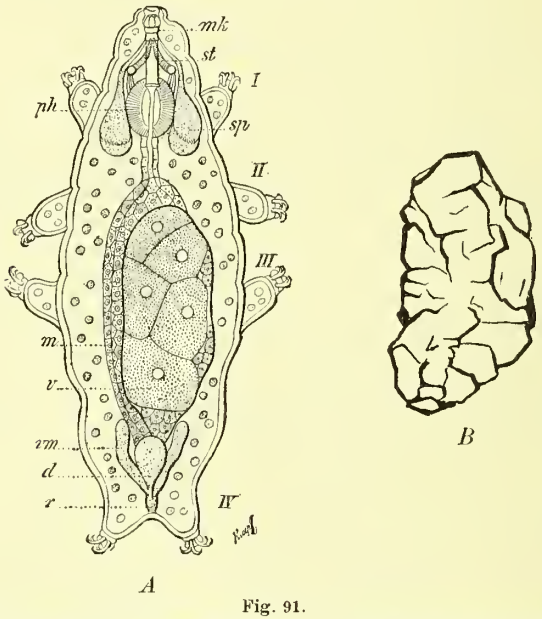


Fig. 91.

Macrobiotus Hufelandi, Bärentierchen. A. Im lebendigen Zustande kriechend. Nach R. Hertwig. B. Im scheintoten Zustande eingetrocknet.

dieselben einzudringen vermögen, besonders bei gesteigerter Molekularbewegung, bei gesteigerter Temperatur. Sind einmal Wassermolekeln in solchen Hohlräumen, so werden sie durch die Fistellen selber in denselben festgehalten, weil sie diese Hohlräume in passender Weise ausfüllen. Sie lassen sich aus denselben kaum entfernen. Nur durch andere gleiche Wassermolekeln, welche ihre Stelle einzunehmen bereit sind, können sie leicht ersetzt werden. Bildet nun eine solche Korkschichte die äusserste Hülle irgend eines Organismus, welcher im Inneren wasseranziehende Substanzen enthält, so werden diese Substanzen das Wasser aus den Korkschichten anziehen. Die Kork-

fistellen selber ziehen aber die Wassermolekeln gleichfalls an, bz. sie halten diese fest, und zwischen beiderlei Kräften wird sich ein Gleichgewicht herstellen. Ist ausserdem die Hülle des Organismus kräftig und dicht genug, um die Druckverminderung auszuhalten und um äussere lebenanregende Wirkungen, wie diejenigen des Lichtes, völlig abzuhalten, so kann man einen solchen Organismus vorübergehend in ein Vakuum bringen, ohne sein Leben dauernd zu gefährden. Denn die wasseranziehenden Kräfte der in seinem Inneren befindlichen Substanzen und die von der Korksubstanz selber auf das Wasser ausgeübten Kräfte verhindern die Wassermolekeln, aus den Fistellenhohlräumen herauszutreten, zu verdunsten, nicht nur im Luftraume, sondern auch im Vakuum. Wird dagegen ein solcher Organismus in Wasser gelegt, so lassen sich die in den Fistellenhohlräumen festgehaltenen Wassermolekeln leicht durch andere gleiche von aussen eindringende Wassermolekeln ersetzen, die wasseranziehenden Substanzen des Organismus ziehen Wasser durch die Korksubstanz herein, der Organismus quillt auf. Unter gewissen bestimmten Bedingungen, bei Samen und Sporen, können die innerhalb der Korkhülle befindlichen Substanzen durch Wasseraufnahme so stark quellen, dass die äussere Hülle gesprengt wird.

Stickstoffhaltige Kohlenstoffverbindungen, also Eiweisskörper, sind zum Leben unbedingt erforderlich (EH_1. 481). Drei Hauptgruppen chemischer Körper setzen die lebendige Substanz zusammen und unterscheiden sie von der leblosen Substanz: Eiweisskörper, Fette und Kohlehydrate. Nur die ersteren sind wesentliche organische Bestandteile (MV. 128). Sie bestehen aus C-, H-, N-, S-, O-Atomen. Ihre Atomzahl aber beträgt oft über tausend. Beispielsweise hat Preyer für Hämoglobin die chemische Konstitutionsformel: $C_{600}H_{960}N_{154}Fe_1S_3O_{179}$ gegeben (MV. 107). Dieselbe kann entweder einer einzelnen der Atomgruppen bz. Molekeln zukommen, aus welchen die Fistelle aufgebaut ist, oder sie kann der ganzen Fistelle angehören, so dass die letztere gewissermassen eine einzige Molekel bildet. In diesem Falle müssen aber die einzelnen Atomgruppen, aus welchen die ganze Fistelle sich zusammensetzt, etwas ungleich sein, weil nur ein Eisenatom, nur drei Schwefelatome in der Formel vorkommen (S. 67). Nur eine Atomgruppe kann daher ein Eisenatom, nur drei Gruppen können Schwefelatome aufweisen.

Dass anscheinend gleiche Eiweisskörper bei verschiedenen Wesen wesentlich verschieden sind, verschiedene Eigenschaften besitzen, geht aus Beobachtungen von Kirkes hervor, welcher Hämoglobinkristalle verschiedener Art fand; dieselben sind anders für den Menschen, für das Meerschweinchen, für das Eichhörnchen (Fig. 92) (MV. 108); die analoge Verschiedenheit muss bestehen bei anderen Eiweissverbindungen, bei Nucleinen, Nucleoalbuminen, Glycoproteiden, bei Aleuronkörnern usf. Dementsprechend hat in jedem Wesen das ganze Protoplasma verschiedene Eigen-

Fig. 92.

Hämoglobinkristalle. A. Vom Menschen. B. vom Meerschweinchen. C. Vom Eichhörnchen. Nach Kirkes.

schaften, verschiedene Zusammensetzung. Je tiefer wir aber hinabsteigen von komplizierteren zu einfacheren Verbindungen, um so häufiger treffen wir die gleichen Substanzen, die gleichen Verbindungen in verschiedenartigen Wesen an. Kohlehydrate, wie Traubenzucker und Stärke, ferner Fette können in ganz verschiedenen Organismen doch gleich sein; noch einfachere Stoffe, wie Harnstoff usf., sind überhaupt stets sich gleichbleibende Substanzen, in welchem Organismus sie auch vorkommen mögen.

Je komplizierter die organische Substanz ist, was ihre chemische Konstitution anbetrifft, um so leichter lässt sich dieselbe in der Regel zersetzen bz. umsetzen, oder es ist doch bei einer grossen Atomzahl einer Molekel die Wahrscheinlichkeit eine grössere, dass das eine oder das andere ihrer Atome sich in der Molekel umlagere, dass es sich durch ein anderes Atom oder durch eine Atomgruppe ersetzen lasse. Es wird stets die leichte Umsetzbarkeit der lebenden Eiweissmolekeln betont (MV. 484). In toten Organismen scheinen die Eiweissmolekeln noch zersetzlicher als in lebenden zu sein. Sie zerfallen näm-

lich in jenen ausschliesslich, während in diesen durch die Lebensprozesse, die Stoffwechselvorgänge wenigstens aus einem Teil der zerfallenen Molekeln immer wieder neue Eiweissmolekeln durch Assimilation gebildet werden. Wegen dieses abweichenden Verhaltens von Eiweissmolekeln in lebenden und in toten Organismen spricht Pflüger von totem Eiweiss, welches ausschliesslich in toten Organismen vorhanden sei, während in lebenden ausserdem noch lebendes Eiweiss sich vorfinde (MV. 486). Indessen sind solche Unterschiede nicht mit Sicherheit festzustellen; denn der Beginn des Todes lässt sich bekanntlich ebensowenig streng definieren, wie das Ende des Lebens. Aus der leichten Umsetzbarkeit hochkomplizierter Atomverbindungen erklärt sich die Anpassungsfähigkeit der Eiweissmolekeln an veränderte äussere Bedingungen. Die Anpassungsfähigkeit des Protoplasmas an chemisch veränderte Umgebungen ist eine sehr grosse; indessen erfolgt die Anpassung doch nur allmählich, durch Veränderung ihres eigenen Bestandes (OH_1. 91).

Substanzen, welche aus Fistellen aufgebaut sind, alle diese regelmässig in gleicher Orientierung nebeneinandergelagert, so wie wir es früher beschrieben haben (S. 53), müssen abgesehen von der Quellungsfähigkeit und der Durchlässigkeit noch in anderer Beziehung auffällige physikalische Erscheinungen zeigen. Sie müssen zb. dem Lichte gegenüber nach verschiedenen Richtungen verschieden sich verhalten, ähnlich wie Kristalle: sie müssen in der Regel Doppelbrechung erkennen lassen (S. 112). Je nach der Konstitution der Fistellen müssen die bt. Substanzen einachsig sein oder zweiachsig. Auch muss unter Umständen besonders in bestimmten Richtungen die natürliche Zirkularpolarisation des Lichtes in ihnen zu stande kommen. Denn die bestimmt orientierte Aneinanderlagerung der Fistellen in solchen Substanzen entspricht dem festen Aggregatzustande und insbesondere der Kristallform. In der That soll nach W. Engelmann alle faserig differenzierte kontraktile Substanz in Muskelzellen, Wimperhaaren, Geisselfäden positiv einachsig doppelbrechend sein (MV. 102). Dieses Verhalten weist also wirklich auf solche Strukturverhältnisse hin. Die optische Achse muss mit der Faserrichtung zusammenhängen. Andererseits hat Engelmann am nackten kontraktilen Protoplasma der Rhizopoden, zb. der Amöben, keine Doppelbrechung auffinden können (MV. 102). Die

natürliche Zirkularpolarisation des Lichtes findet man bei zahlreichen organischen Substanzen (LB. 450). Kristallinische Eiweisskörper sind quellbar, geben aber unter Umständen bei ihrer Vergrösserung ihre Kristallform nicht auf. Solche Kristalle sind in Aleuronkörnern besonders verbreitet (SN. 61 [62]).

Nicht nur für reines Wasser, auch für andere Flüssigkeiten, hauptsächlich für wässerige Lösungen vieler Substanzen sind die meisten aus Fistellen zusammengesetzten Membranen durchlässig, jedoch für verschiedene Substanzen in verschiedener Weise, für manche derselben fast gar nicht. Die entsprechenden physikalischen Versuche sind allgemein bekannt. Es hängt diese Verschiedenheit mit der Konstitution der Membranfistellen zusammen (S. 54). Eine Folge der ungleichen Durchlässigkeit einer Membran für verschiedene Substanzen sind ungleiche Drucke in den verschiedenen Flüssigkeiten, welche beiderseits von der Membran sich befinden. Man bezeichnet diese Erscheinung als Osmose; ihr Wesen ist insbesondere durch van t'Hoff unter Anwendung der Gesetze der kinetischen Gastheorie aufgeklärt worden. Van t'Hoffs Gesetze der Osmose werden auf den Turgor angewandt (MV. 230). Die Osmose hat jedenfalls eine grosse Bedeutung im organischen Leben (OH_1. 112). Nach Pfeffer, de Vries bewirkt die Osmose den grossen Flüssigkeitsdruck in Pflanzenzellen, welcher als Turgor bezeichnet wird (OH_1. 114). Dieser Turgor kann drei bis fünf, ja sogar bis zu zwanzig Atmosphären betragen (SN. 138 [135]).

Zellmembranen haben wir als notwendige Bestandteile der Zellen betrachtet. Nach manchen biologischen Forschern soll zwar die Zellmembran kein wesentlicher Bestandteil der Zelle sein. Nackte Schwärmsporen sollen keine Membran haben (OH_1. 8). Rhizopoden, Eier von Tieren und Pflanzen seien hier und da ohne Zellmembran (MV. 69). Zuerst sei in jugendlichen undifferenzierten Zellen keine Zellmembran da, nachher entstehe eine solche (CC. 20). Wir erkannten aber, dass die dünnsten Membranen, welche sich aus Molekeln und Fistellen noch bilden, 500mal dünner sind als diejenige Membrandicke, welche uns mit den besten Mikroskopen eben noch sichtbar ist. Die oft mehrschichtigen Membranen der Pflanzenzellen, die Häute derselben sind in der Regel fester als diejenigen der Tierzellen (SN. 3 [3]). Eine besonders grosse Lebenszähigkeit haben oft die Vakuolen-

häute. Behandlung mit zehnprozentiger Salpetersäure bringt dieselben nicht zum Absterben. Dennoch teilen sich solche Vakuolen, vereinigen sich in anderen Fällen wieder (SN. 47 [46]). Die äusseren und inneren Membranschichten von Pflanzenzellen sind aber verschieden zusammengesetzt, die einen enthalten mehr Pectinstoffe, die anderen mehr Cellulose (SN. 68 [55]). Bei Tierzellen nimmt man oft zahlreiche leicht sichtbare Membranen wahr. Auch die Fettkörperchen der Milch sind von Membranen umgeben, welche das Zusammenfliessen der Tröpfchen verhindern (BD. 321 [320]). Ferner darf man bei den roten Blutkörperchen (Erythrocyten) nach Lavdowsky eine Membran vermuten (BD. 123 [116]), schon wegen der in gewissen Grenzen sich stets gleichbleibenden Grösse derselben.

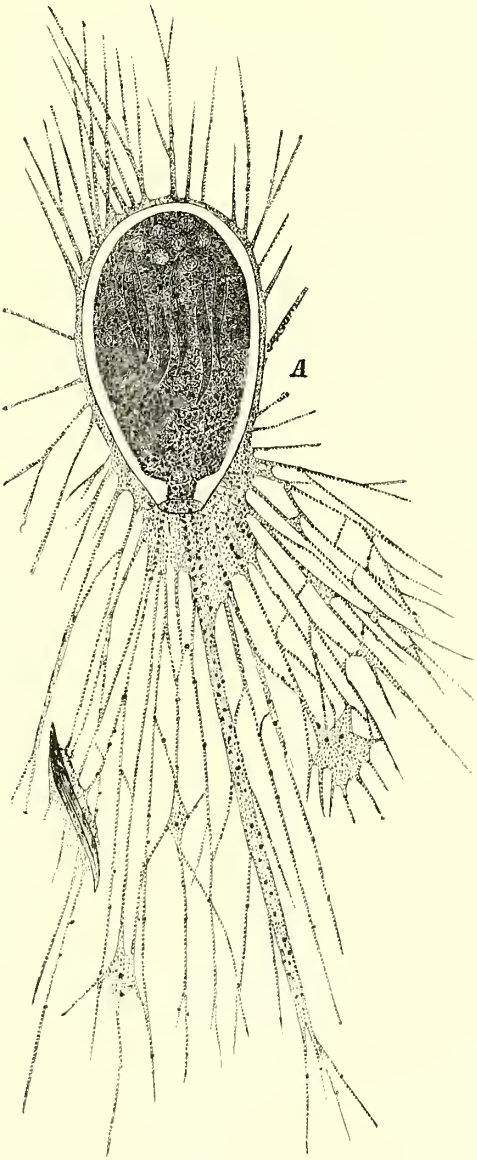


Fig. 93.
Gromia oviformis. Nach M. Schultze.

Wir haben die Vermutung ausgesprochen, dass alle Zellen von Fistellenmembranen eingeschlossen seien, weil gerade diese wie feste Körper aufgebauten und doch durchlässigen Membranen die

Möglichkeit eines regeren Stoffwechsels bieten als andere Substanzoberflächen oder gar als die Innenräume homogener Substanzen (S. 72). Deshalb können Traubes Versuche mit einer künstlichen Zelle aus leblosen Materien (MV. 173), Bütschlis Schäume aus Olivenöl und Rohrzucker (MV. 90, 96), Gads und Quinckes Darstellungen amöboider Bewegungen von Oeltropfen in alkalischen Medien (MV. 570, 571; OH_1. 61) nur als bildliche

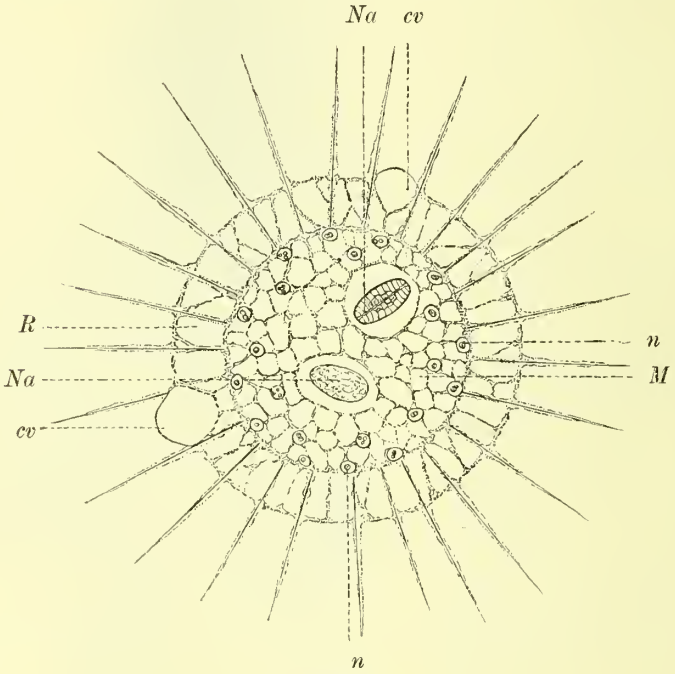


Fig. 94.

Actinosphärium Eichhornii. Nach R. Hertwig (Zoologie, Fig. 117). M. Marksubstanz mit Kernen (n). R. Rindensubstanz mit kontraktilen Vakuolen (cv). Na. Nahrungskörper.

Nachahmungen von Teilen gewisser organischer Naturvorgänge aufgefasst werden, nicht als Analoga der wirklichen Naturvorgänge selber.

Wenn die Fistellen bz. die aus ihnen entstandenen Röhrchen ihrer Länge nach in passender Weise ungleiche Querschnittsverteilungen haben, so entstehen aus ihnen Pseudopodien, Cilien, Geisseln, Wimpern (S. 144). Dieselben sind in der Regel an der Basis dicker, als an der Spitze. Sie treten durch Poren

aus der Membran heraus (OH_1. 64). Haeckel bezeichnet als kleinste „Moneren“ die rotierenden wahrscheinlich mit Geisseln versehenen Bakterien (EH_1. 483). Sehr beachtenswert sind die Protisten: Gromia oviformis mit ihrem Gehäuse und zahlreichen Pseudopodien (Fig. 93) (OH_1. 26) und Actinosphaerium Eichhornii, wegen seiner regelmässigen Bauart und seiner scharfen, spitzen, starren Pseudopodien (Fig. 94). Amoeba limax (Fig. 95) besitzt dagegen breite lappenförmige Pseudopodien, welche bei

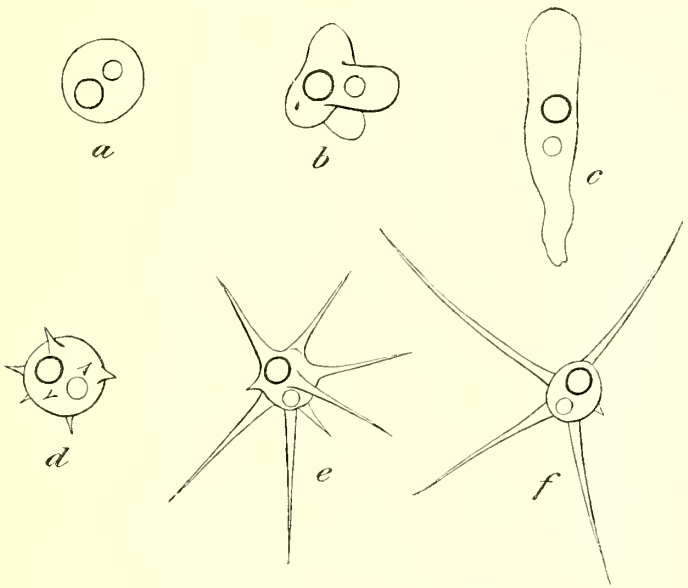


Fig. 95.

Amoeba limax. a kontrahiert im Beginn der Pseudopodienbildung (Proteusform); c gewöhnliche Limaxform; d, e, f Formen nach Zusatz von Kalilauge; d im Begriff der Einwirkung, e, f Radiosa-Formen. Nach Verworn.

Kalilaugezusatz in starre, spitze Pseudopodien sich verwandeln. Paramaecium aurelia ist mit zahlreichen Wimpern besetzt (Fig. 96A). Spermatozoen und Geisselinfusorien besitzen eine oder mehrere Geisseln, mit denen sie sich fortbewegen können (Fig. 96B, C, D).

Wie die Zellmembran für die ganze Zelle, so wird auch die Kernmembran für den normalen Zellkern als notwendiger Bestandteil desselben zu betrachten sein, wenn auch vielfach entgegengesetzte Anschauungen geltend gemacht werden. Denn die Membranen sind ganz besonders als die chemischen Werkstätten der organisierten Lebewelt aufzufassen. Solche Kern-

membranen sind nicht nur in Pflanzenzellen, sondern auch in Tierzellen oft leicht zu beobachten. Eine embryonale Zelle aus dem Vegetationskegel einer phanerogamen Pflanze hat einen kugeligen Kern mit einer wirklichen Wandung (Fig. 97). Der Kern von animalen Eiern besitzt eine doppelt konturierte leicht zu sehende Membran (BD. 234 [226]). Bei sehr vielen Zellkernen ist dagegen die Kernmembran mit unseren optischen

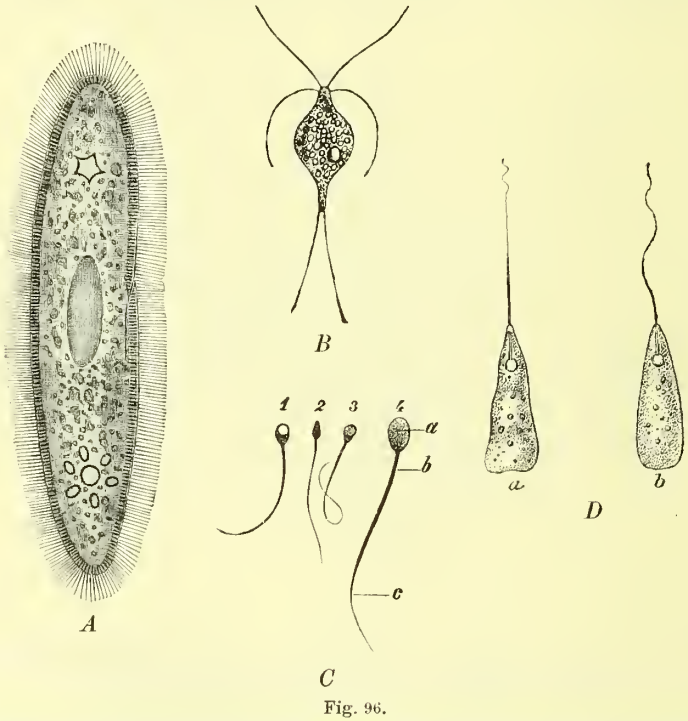


Fig. 96.

A. Paramaecium aurelia, ein Wimperinfusorium. Nach Verworn. B. Hexamitus inflatus, ein Geisselinfusorium mit sechs Geisseln. Nach Stein. C. Spermatozoen vom Menschen. a Kopf, b, c Geissel. Nach Stöhr. D. Paranema, ein Geisselinfusorium, a schwächer, b stärker mit seiner Geissel schlagend. Nach Verworn.

Mitteln nicht zu erkennen, weil sie zu dünn ist, ohne dass wir deswegen die Existenz derselben in Abrede stellen dürften. Andererseits ist es allerdings denkbar, dass im anormalen Zustand der Zelle, zb. bei der Zellteilung, die ganze Kernmembran vorübergehend ganz aufgelöst wird.

Die Kernmembran scheidet die Kernsubstanzen von den Zellsubstanzen des äusseren Zellraumes; doch wird ein Teil der

Zellsubstanzen innerhalb und ausserhalb der Kernmembran trotzdem ganz gleich beschaffen sein. Die Zellsubstanzen sind in der Regel teils flüssig, teils haben sie die Struktur fester Körper. Manche derselben reichen als Fäden oder als Bänder von einer Stelle der Kernmembran zur anderen, oder von einer Stelle der Zellmembran zur anderen, oder sie verbinden die Kernmembran mit der Zellmembran in bestimmter von der Aufgabe, welche die Zelle zu erfüllen hat, abhängiger Weise. So wird die Lage des Zellkerns durch die äussere Gestalt der Zelle bedingt (BD. 38 [34]), welche selber je nach den äusseren auf die Zelle wirkenden Kräften sehr verschieden sein kann. Denn aneinander gelagerte Zellen werden wabenartig sich ineinander einfügen. Zellen, welche zwischen andere wenig miteinander zusammenhängende Zellen anderer Art eingezwängt sind, können sternförmig verästelt sein. Zellen, welche ganz frei als Einzelzellen sich entwickeln, sind oft einfach kugelförmig, oft haben sie aber sehr komplizierte Begrenzungsflächen. Einzelne von ihnen gleichen hochentwickelten vielzelligen Organismen, wie zb. Caulerpa (Fig. 98) (MV. 76) (SN. 286 [285]), obwohl sie der üblichen Definition gemäss nur als einzellige Organismen aufgefasst

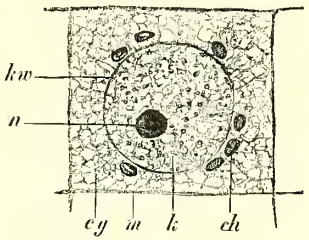


Fig. 97.

Embryonale Zelle aus dem Vegetationskegel einer phanerogamen Pflanze, k Kern, k w Kernwandung, n Kernkörperchen, cy Cytoplasma, ch Chromatophoren, m Zellwandung. Etwas schematisiert. Vergr. ca. 1000. Nach Strasburger.

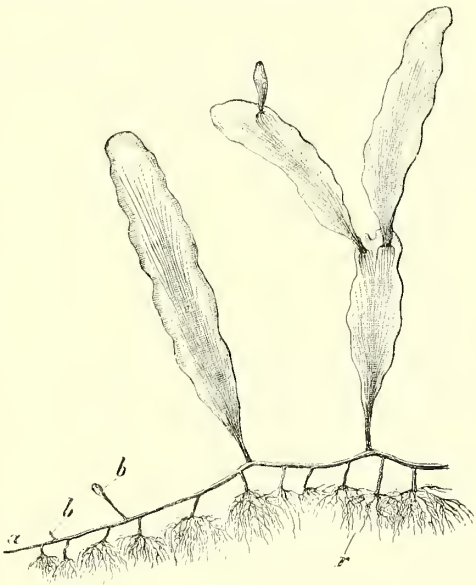


Fig. 98.

Caulerpa prolifera. Die feinen Linien auf den Thallusblättern bezeichnen die Plasmaströmungen, a fortwachsende Spitze der Thallusachse, b b junge Thalluslappen, r Rhizoide. 1/2 nat. Gr. Nach Strasburger.

werden. Nicht nur der äusseren Begrenzungsfläche muss sich der Kern mehr oder weniger anpassen, sondern er muss auch im stande sein, der ihm gestellten Aufgabe möglichst gerecht zu werden. Er sucht deshalb stets die Mitte seiner Wirkungssphäre einzunehmen (OH_1. 172). Die formative Thätigkeit des Plasmas scheint unter dem Einflusse des Kerns zu stehen (OH_1. 265).

Wie die Zellen selber in ihrer Grösse ganz verschieden sind, so weichen auch die Zellkerne, welche wenigstens in lebendigen Pflanzenzellen fast immer nachgewiesen werden konnten (SN. 42), in der Grösse mannigfach voneinander ab. Die Zellen, aus welchen der menschliche Körper aufgebaut ist, variieren in ihrer Grösse durchschnittlich von 0,01 bis 0,1 mm (EH_1. 108). Einzelne Zellen fibrillärer Struktur, wie Muskelzellen und Nervenzellen, können dagegen sehr lang werden, letztere wahrscheinlich 1 m lang und darüber. Ebenso erreichen oft Samenzellen und Eizellen, auch einzellige Organismen, wie Caulerpa, eine recht beträchtliche Grösse. Besonders grosse Zellkerne beobachtet man in jungen Eizellen und in gewissen Epithelzellen (BD. 39 [35]), in anderen Zellen umgekehrt sehr kleine Kerne (OH_1. 34), oft aber deren eine grosse Zahl in einer einzigen Zelle. Beispielsweise fand Gruber bei Pelomyxa pallida unzählige winzige Kerne (Fig. 99) (MV 92). Der ihnen gestellten Aufgabe entsprechend haben die Zellkerne oft absonderliche Formen angenommen (Fig. 100) (OH_1. 33), nämlich die Form von Sternen, Rosenkränzen, Geweihen usf. (Fig. 101) (MV. 92).

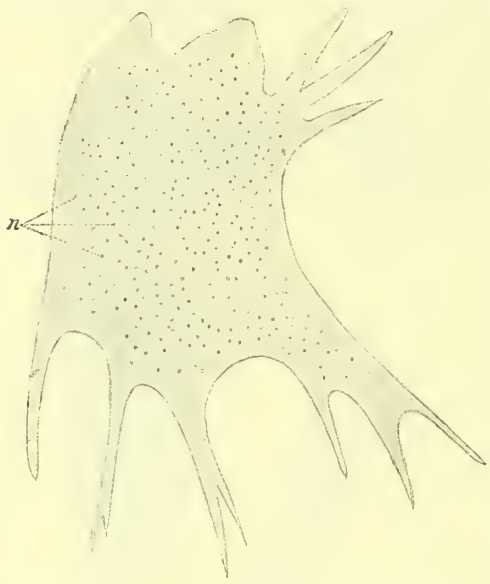


Fig. 99.
Pelomyxa pallida. Ein Rhizopod mit sehr fein verteilter Kernsubstanz. Nach Gruber.

Der Zellsubstanzen giebt es sehr viele, auch sind zahl-

reiche Namen für dieselben eingeführt worden, wie Protoplasma oder Zellplasma oder Cytoplasma, ferner Exoplasma, Endoplasma, Nuclein, Paranuclein, Chromatin, Linin usf. Dabei bezeichnen aber verschiedene Forscher hie und da mit demselben Namen ganz verschiedene Dinge, was zur Klärung der schwebenden

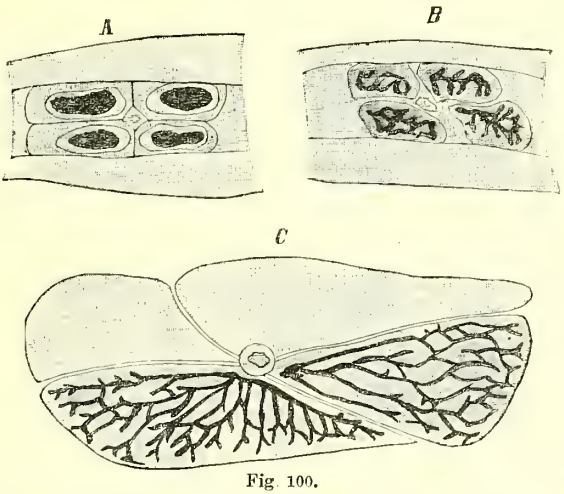


Fig. 100.

A. Ein Stück vom siebenten Bein einer jungen Phronima von 5 mm Länge. B. Ein Stück des sechsten Beines einer halb erwachsenen Phronimella. C. Eine Zellgruppe der Drüse im sechsten Bein von Phronimella. Nur in zwei Zellen ist der Kern eingezeichnet. Vergr. 90. Nach Paul Mayer.

Fragen nichts weniger als förderlich ist. Die Zellsubstanzen bestehen in grünen Pflanzenzellen mindestens aus den 10 Elementen C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg, Fe (SN. 143 [140]); in vielen pflanzlichen und tierischen Zellen können aber noch andere Elemente zu diesen hinzutreten. Eine sehr wichtige Rolle spielen überall, wie schon früher bemerkt, die Eiweissstoffe, welche stets Stickstoff enthalten; sie bilden die grösste Masse von organischen Verbindungen der lebenden Substanz (MV. 485). Daneben sind in hervorragender Weise in vielen Zellen vorhanden Kohlehydrate, Oele und Fette. Als speziellere Zellsubstanzen nennen wir beispielsweise Cellulose, Stärke, Glycogen, Zuckerarten, Gerbstoff, Harze, Guttapercha, Kautschuk (SN. 62, 63 [62, 63]). Nur wenige von den Zellsubstanzen sind ihrer chemischen Konstitutionsformel nach genau bestimmt. Meistens ist ihre Zusammensetzung, wie aus früheren Beispielen hervorgeht (S. 208, 213), so kompliziert, dass ihre Konstitution wohl

niemals ergründet werden wird. So viel müssen wir aber als sicher betrachten, dass auch in den einfachsten sichtbaren Zellen ungemein viele chemisch voneinander verschiedene Substanzen vorhanden sind, vielleicht viele Tausende derselben. Wir schliessen

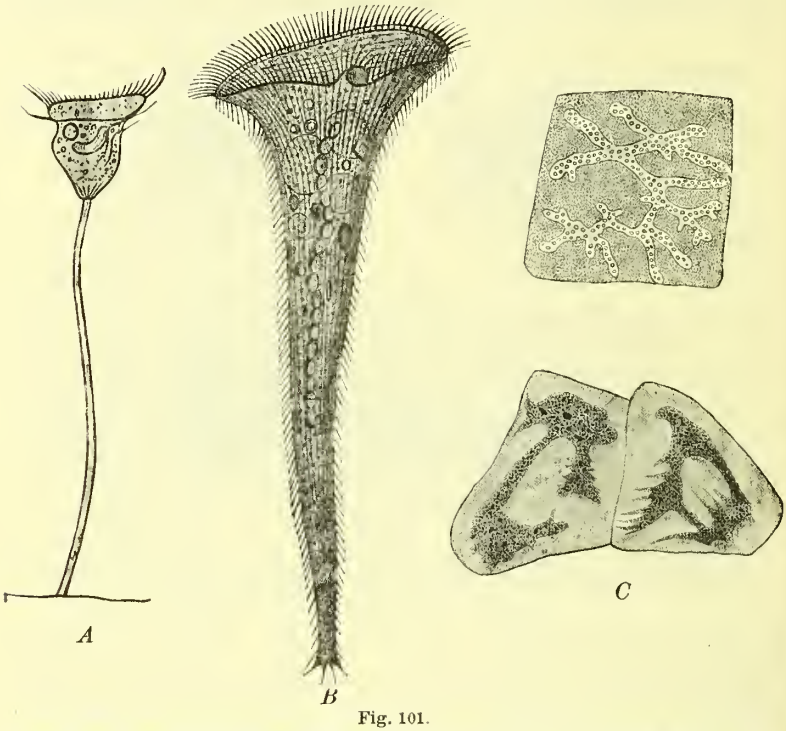


Fig. 101.

Zellen mit verschiedenen Zellkernformen. A. Vorticella, ein Wimperinfusor mit wurstförmigem Zellkern. B. Stentor, ein Wimperinfusor mit rosenkranzförmigem Zellkern. C. Spinndrüsenzellen von Raupen, mit geweihförmig verzweigtem Zellkern. Nach Korschelt.

dies aus dem überaus verwickelten Getriebe der Lebensvorgänge.

Unter dem Begriff des Protoplasmas fasst man gewöhnlich alle lebenden Bestandteile des Zellkörpers zusammen (SN. 41[41]). Das Protoplasma ist kein einfacher Körper, weder chemisch, noch morphologisch, vielmehr ein Gemisch von solchen (MV. 83). Eine feste Struktur dieses Protoplasmas ist nach Verworn und anderen Forschern unmöglich (MV. 97). Gewisse fest scheinende Zellen haben die Konsistenz weicher Gallerte, ohne je die Verschiebbarkeit ihrer Teilchen einzubüssen. Hier könne man von

einer etwas starreren Struktur sprechen (MV. 99). Die langsamen Protoplasmaströmungen in Myxomyceten, wie auch in Pflanzenzellen sind dabei bemerkenswert (OH_1. 57). Man beobachtet oft entgegengesetzte Ströme von Protoplasma unmittelbar nebeneinander (MV. 243). Farbkörnchen, in Rhizomoneren gebracht, fliessen im Protoplasma herum (EH_1. 483). Das Protoplasma ist für alle gelösten Nahrungsstoffe durchlässig (MV. 148). Es können Stränge und Fäden aus Cytoplasma den Saftraum durchziehen und der Zellkern in der Mitte derselben suspendiert sein, nicht wandständig werden (SN. 42[42]). Die Grundsubstanz des Cytoplasma ist hyalin, zähflüssig (SN. 44[44]). Das Cytoplasma nimmt Tropfenform an, wenn es unter Wasser ausfliesst, und es enthält die Körnchen stets bei seinen Strömungen, auch wenn es in Fäden oder Häuten angeordnet ist (SN. 47).

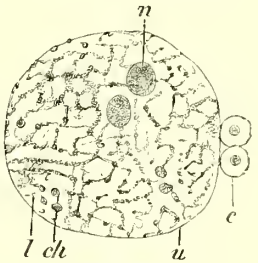


Fig. 102.

Ruhender Zellkern aus dem in Bildung begriffenen Endosperm von Fritillaria imperialis. Nach einem mit Alkohol fixierten und mit Safranin gefärbten Präparate. Etwas schematisiert. l Linin, ch Chromatin, n Kernkörperchen, u Kernwandung, c Centrosphären (Polkörperchen). Vergr. 1000. Nach Strasburger.

Alle diese Beobachtungen sind leicht zu verstehen und leicht miteinander in Einklang zu bringen, wenn man das Protoplasma (Cytoplasma) nicht als eine homogene Substanz auffasst, sondern als eine Vereinigung sehr vieler, möglicherweise unzählig vieler, teils fester, teils flüssiger, teils vielleicht sogar gasförmiger Substanzen. Feste Substanzen, welche aus Fistellen aufgebaut sind, müssen selber schon als durchlässig für gewisse Flüssigkeiten bezeichnet werden. Sind sie in Faden- oder in Bandform, von Membran zu Membran reichend, im Zellinnern enthalten, so müssen andere Substanzen, wie Flüssigkeiten oder kleine Körnchen, Bläschen, Stäbchen, Gastrulen usf., welche frei im Zellsaft schwimmen, zwischen diesen Fäden oder Bändern leicht sich hindurchbewegen können. Wir haben schon oben aus theoretischen Gründen auf eine solche Fadenstruktur fester Körper im Zellinnern geschlossen (S. 176). In der That ist auf dieselbe vielfach aufmerksam gemacht worden. Die Fäden (Fig. 102) bestehen aus Linin; in ihnen beobachtet man in der Regel kleine Körperchen, welche eine Färbung annehmen können, aus Chromatin bestehend. Zwischen den Lininfäden befinden

sich die Nucleolen oder Kernkörperchen, welche meist für andere Farben empfänglich sind (SN. 47, 48 [47]). Das Protoplasma enthält Fäden oder Platten, welche sich verzweigen, oft ein regelmässiges Gerüst bilden, und welche wahrscheinlich aus Zellmikrosomen bestehen. Zwischen diesem Gerüst befindet sich das Paraplasma (BD. 36 [32]). An den Verzweigungsstellen glaubt man Körnchen, die Granula, zu beobachten (BD. 38 [34]). Das Chromatingerüst und namentlich das Liningerüst im Zellkern erstreckt sich nach allen Richtungen (BD. 39 [35]). Indessen muss die lebende Substanz auch in dem festen Aggregatzustande noch als mehr oder weniger plastisch aufgefasst werden, ganz besonders dann, wenn sie aus Fistellen aufgebaut ist. Denn in diesem Falle ist die Substanz durchlässig für Flüssigkeiten, hauptsächlich für ihre Nahrungsflüssigkeit. Demnach bildet sich leicht neue Fistellensubstanz an den für Nahrungszufluss besonders begünstigten Stellen, während an anderen in dieser Beziehung ungünstigeren Stellen oder an solchen, an denen äussere Störungen nachteilige Existenzbedingungen erzeugen, die Substanz sich zersetzen muss. In dieser Weise scheint dann ein Fliessen, ein Ueberströmen sogar der Fistellensubstanz nach den Stellen der günstigeren Existenzbedingungen zu stande zu kommen. Wie die Kernsubstanz, so muss auch das Protoplasma als wesentlicher Zellbestandteil aufgefasst werden (MV. 517).

Die Differenzierung im Protoplasma ist in verschiedenen Zellen, insbesondere in verschiedenen Pflanzenzellen, ganz verschieden, viel weiter vorgerückt in höheren Pflanzen (SN. 41). Ausser den Kernen kommen in einfachen Zellen noch andere kleine Körperchen oder Bläschen im Cytoplasma vor, die oben genannten Mikrosomen, sodann kugelige oder anders geformte Vakuolen (SN. 47 [46]), ein bis zwei Nucleolen oder Keimflecke (BD. 234 [226]). Doch wird andererseits darauf aufmerksam gemacht, dass man oft als Nucleolen ganz verschiedenartige Dinge bezeichne, aus Nuclein oder Paranuclein (OH_1. 43). Wie der Kern, so sollen auch die Polkörperchen, welche bei der Kernteilungsfigur eine so grosse Rolle spielen, in jeder Zelle vorhanden sein; auch seien sie für gewöhnlich Bestandteile des Zellkerns, im Fall der Ruhe in diesem enthalten (OH_1. 48, 49). Die Polkörperchen (Centrosomen) sollen nicht nur zum Kern gehören, sondern wahrscheinlich auch von ihm abstammen

(BD. 42 [39]). Nach unseren theoretischen Entwicklungen sind die Polkörperchen die Zentren, in welchen vermutlich die reizbaren, die nervösen Fibrillen zusammenlaufen. Also sind sie in diesem Falle die nervösen Zentralorganoide der einzelnen Zellen.

Die verschiedenen Substanzen der Zelle übernehmen ihren Eigenschaften entsprechend verschiedene Funktionen, sie differenzieren sich, wie wir früher näher ausgeführt haben (S. 165). Als Stützsubstanzen werden vielfach Körper in festem Aggregatzustande verwendet, oft unorganische Stoffe, wie Calciumsalze, Kieselsäure, manchmal in kristallinischer Form (SN. 70 [57]). Bei Radiolarien werden Kieselnadeln gebildet und zwischen den

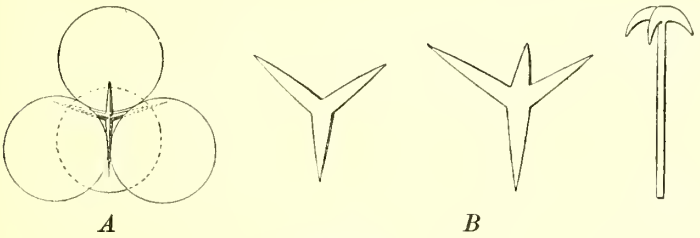


Fig. 103.

Kieselnadeln von Schwämmen. A. Schema der Entstehung eines Vierstrahlers zwischen vier blasenförmigen Hohlräumen. Nach F. E. Schulze. B. Verschiedene Formen von Kieselnadeln.

Vakuolenwänden abgeschieden, nach F. E. Schulze, Dreyer usf. (Fig. 103) (MV. 549). Bei vielen einzelligen Radiolarien ist das Kieselsäuregerüst ungemein zierlich und kompliziert (Fig. 104) (OH_1. 129). In anderer Weise entstehen in Actinosphaerium Eichhornii starre Strahlen in den Pseudopodien, als Stützorgane des Protoplasmas (MV. 102).

Die Flüssigkeiten sind zum Transport von allerlei Substanzen geeignet, welche den übrigen Zellsubstanzen zur Nahrung dienen oder welche von ihnen abgeschieden worden sind. Beispielsweise löst der Zellsaft Zuckerarten auf, und vieles andere, und er transportiert sie von einem Ort zum anderen (SN. 63 [63]). Zirkulations-, Rotations- und Orientierungsbewegungen nimmt man besonders in Pflanzenzellen wahr (SN. 212 [211]); die Ursachen dieser Bewegungen mögen in der Osmose, im Wachstum, in der Assimilation liegen, welche auf einer Seite der Zelle oder an einigen Stellen derselben anders

sein können als an anderen. Als transportierende Substanzen bz. als Reservestoffe sind Stärkekörner, Zuckerarten usf. zu betrachten (SN. 58 [58]), welche im Falle von Nahrungsüberfluss gebildet und vergrössert, im Falle von Nahrungsmangel wieder aufgelöst werden. Solchen Wechseln zufolge, welche ihre Bildung massgebend beeinflussen, zeigen Stärkekörner Schichtungen (Fig. 105) (SN. 58 [58]); denn Stärkekörner, welche aus kristallinischen Nadeln aufgebaut sein sollen, werden von Kohlehydraten von der Formel $(C_6H_{10}O_5)n$ gebildet (SN. 60 [60]), wobei der Faktor n bei verschiedenartigem Nahrungszufluss ohne Zweifel verschiedene Werte annehmen kann. Es entstehen demnach abwechslungsweise Molekeln mit mehr und solche mit weniger Atomen, was an den geringen Lichtbrechungsunterschieden der Schichten zu erkennen ist. Ferner sind Blutkörperchen in der Blutflüssigkeit und auch das fliessende Protoplasma, welches Körnchen und Nahrungskörperchen längs der Pseudopodien vieler Rhizopoden hinaus- bz. hineinleitet (MV. 224, 225), als transportierende Substanzen aufzufassen.

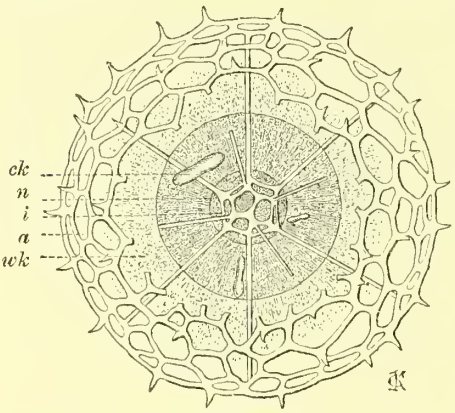


Fig. 104.

Haliomma erinaceus. Nach R. Hertwig (Zoologie Fig. 82). a äussere, i innere Gitterkugel, ck Zentralkapsel, wk extrakapsulärer Weichkörper, n Binnenbläschen (Kern).

Als verdauende Substanzen wirken in allen Zellen, in Teilen von solchen oder in noch einfacheren Lebewesen, wenn sie durch eine Membran völlig eingeschlossen sind, eben diese Membranen. Sie wählen aus den aussen befindlichen Substanzen die passenden aus, lassen in erster Linie nur solche eintreten, welche den wesentlichen Innensubstanzen förderlich sind, welche zur Erhaltung des bt. Lebewesens beitragen. Auch indifferente Substanzen können durch solche Membranen eintreten; doch sind dieselben, weil sie im allgemeinen den nützlichen Substanzen den Platz versperren, indirekt schädlich. Treten Substanzen durch die Membranen ein, welche sogar dem Leben des Organismus

(oder des Organoids) direkt schädlich sind, so unterliegt dieser letztere sicher im Kampf ums Dasein gegen entsprechende andere Organismen, deren verdauende Substanzen solche schädlichen Stoffe nicht eintreten lassen. Eine wichtige Rolle als verdauende Substanzen, mindestens in gewissen Fällen, scheinen die Synbionten zu spielen, deren Abscheidungsprodukte dem Organismus, in welchem sich jene aufhalten, nützlich, oft sogar unentbehrlich sind. Andere Synbionten nehmen Stoffe oder ganze Lebewesen, Bakterien, welche dem grösseren Organismus, den sie bewohnen, schädlich sind, in sich auf, verdauen dieselben und machen sie dadurch unschädlich. Die weissen Blutkörperchen (Leukocyten) haben solche für die höheren Organismen, in welchen sie sich befinden, überaus wichtige Eigenschaften. Sie wirken auf überflüssig gewordene Teile resorbierend (BD. 128[120]), verdauen schädliche Bakterien (Fig. 106) (OH_1. 25). Die Leukocyten werden als Zellen aufgefasst, welche sich scheinbar sehr frei bewegen. Sie vermögen demnach ihre Nahrung, zb. die dem Organismus, in welchem sie sich befinden, schädlichen Stoffe, ganz selbständig aufzusuchen. Sie vermehren sich besonders da sehr stark wo solche Nahrung vorhanden ist, und leisten dadurch in Krankheitsfällen unschätzbare Dienste (OH_2. 30). Auch in einzelnen Zellen werden aber vermutlich noch kleinere Lebewesen vorhanden sein, welche wir im 2. Kapitel beschrieben und dort schon als Synbionten bezeichnet haben. Dieselben mögen gleichfalls die Aufgabe haben, der Zelle schädliche zufällig eingedrungene Stoffe aufzunehmen und für die Zelle unschädlich zu machen.

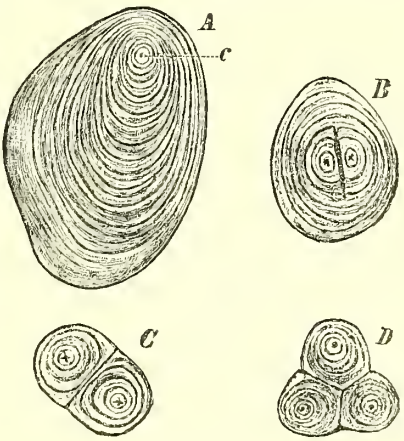


Fig. 105.
Stärkekörner aus der Kartoffelknolle. A ein einfaches, B ein halbzusammengesetztes Stärkekorn, C und D ganz zusammengesetzte Stärkekörner, c der Bildungskern des Stärkekorns. Vergr. 540. Nach Strasburger.

Die verdauenden sind zugleich sezernierende Substanzen, wenn sie eine Auswahl unter den zu ihrer Nahrung, zur Ver-

dauung dargebotenen Stoffen treffen und wenn sie einen Teil derselben wieder absondern. Sind sezernierende Substanzen im Zellinneren vorhanden, so entstehen meistens Vakuolen zb. von kugeligen Membranen gebildete Behälter der abgeschiedenen Flüssigkeiten, welche sich, sobald der Flüssigkeitsdruck in ihrem Inneren ein zu grosser geworden ist, durch einen Porus ent-

Fig. 106.

Ein Leukocyt des Frosches, in dem ein Bakterium eingeschlossen ist und verdaut wird. Das Bakterium durch Vesuvin gefärbt. Die beiden Figuren repräsentieren 2 Stadien der Bewegung ein und derselben Zelle. Nach Metschnikoff (Fig. 54).

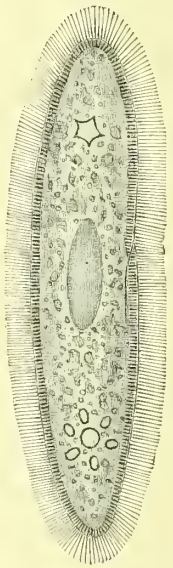


Fig. 107.

Paramaecium aurelia, eine Wimperinfusorienzelle, die an beiden Enden eine pulsierende Vakuole im Protoplasma enthält. Nach Verworn.

leeren (BD. 37 [33]). Solche periodisch sich entleerende Vakuolen erscheinen oft als kontraktile pulsierende Vakuolen (Fig. 107) (MV. 85). Sie liegen stets dicht unter dem Ektoplasma (OH_1. 70). Manche Stoffe werden nur durch Ausschwitzen ausgeschieden (EH. 466 [468]). Diffusion und Chemismus der Zelle sind nötig für die Erklärung des Mechanismus der Resorption und der Sekretion (MV. 529).

Viele sezernierte Stoffe bilden Schutzmittel der Zelle, des bt. Organismus, oder sie haben andere für diesen wichtige Funktionen. So der Schleim. Ferner sind hier ätherische Oele zu nennen, welche teils übelriechen, zum Schutze gegen Angriffe

feindlicher Organismen, teils wohlriechen, zur Anlockung nützlicher Organismen. Hieher gehört auch der Blütenhonig, welcher Insekten anlockt, denen die Vermittlung der Befruchtung obliegt (MV. 177). Sodann können Säuren bald einen abstossenden, bald einen anziehenden Einfluss auf fremde Organismen ausüben, zb. werden die Spermatozoen zweifellos in vielen Fällen durch bestimmte äusserst verdünnte Säuren angelockt. Gegen andere schädigende Einflüsse können manche Sekrete gleichfalls wirksamen Schutz verleihen. So verhält es sich mit dem roten Zellsaft, welcher gewissen Epidermiszellen Schutz gegen zu starkes Licht verleiht (SN. 79).

Engelmann stellt sich vor, die anisotropen Schichten der kontraktilen Substanz haben längliche Molekeln, welche durch Imbibition sphärisch werden (PP. 49). Fassen wir unsere Fistellen nicht als Molekelaggregate auf, nennen wir sie vielmehr kurzweg Molekeln, so sind wir in unseren früheren Entwicklungen zu ganz ähnlichen Resultaten gekommen (S. 61). Die Wirkungen der kontraktilen Substanzen fallen ganz besonders ins Auge, weil sie Ursache der Fortbewegung, der Ortsveränderung von Organismen oder von Teilen derselben sind. Die amöboide Bewegung haben wir früher ausführlich behandelt (S. 140). Sie wird angeregt durch grösseren Nahrungsvorrat an einer Stelle der Zelloberfläche, als an einer anderen, durch andere dem Organismus nützliche oder auch schädliche Einflüsse (OH_1. 96). Unterhalten wird diese Bewegung teilweise durch dieselben Einflüsse, teilweise aber auch durch Strömungen des im Inneren der Zelle befindlichen Protoplasmas oder des Zellsaftes. Der Formänderung der Pseudopodien entsprechend werden nicht nur die bt. Kontraktionen und Expansionen von Fistellen, sondern es werden auch zahlreiche Neubildungen von Membranteilen, von Fistellen zu stande kommen. Bei der langsamen Ortsveränderung amöboid bewegter Organismen scheint die Zeit für solche Neubildungen vollkommen ausreichend. An anderen Stellen zerfallen unbenutzte Fistellen, so dass wir den Eindruck erhalten, als würde die Materie bewegt von den Stellen, wo Fistellen zerfallen, nach den Stellen hin, wo Fistellen neu gebildet werden. Amöboide Fortbewegungen finden wir bei Pigmentzellen (vielleicht hier scheinbar durch Umlagerung von Stoffen), bei Rhizopoden, Leukocyten, Wanderzellen, Eizellen der Schwämme,

Darmepithelzellen, bei vielen Pflanzenzellen (MV. 239). Viele Zellen haben aber in der That sehr ausdehnungsfähige Wände aus elastischen Membranen (Fig. 108). Die Konturen dieser Zellwände erscheinen mäandrisch, greifen mit sehr zahlreichen tiefen Zacken ineinander ein (BD. 223 [214]).

Weit energischer als die amöboide Bewegung wirkt die Geisselbewegung. Besteht die Geisselmembran aus kontraktiler Substanz, welche ringsum über den Geisselquerschnitt ungleich verteilt ist (Fig. 77, S. 144), so muss sich die Geissel krümmen, wenn diese Substanz sich kontrahiert oder wenn sie expandiert. Solche Kontraktionsbewegungen werden zb. eintreten infolge der Flüssigkeitsmolekeländerung in den Fistellenhohlräumen (S. 144). Denn durch gleiche Aenderung der gleichen im Inneren der weiten und der engen Röhrchenfistellen befindlichen Flüssigkeitsmolekeln werden weite Fistellen und enge Fistellen in ganz ungleicher Weise erweitert. Sind also der Länge nach die Geisselquerschnitte analoge wie in Figur 77, so muss durch jene ungleichen Erweiterungen der ungleichen Fistellen die Geissel in der That gebogen werden. Ist die Aenderung der Flüssigkeitsmolekeln verbunden mit der Nahrungsaufnahme, und erfolgt die letztere wenigstens für die Geissel vorzugsweise an der Spitze derselben, so krümmt sich die Geissel infolge der aufgenommenen Nahrung, die sodann dem inneren Teile der Geissel und durch diese dem Hauptkörper des Organismus abgegeben wird, von der Spitze an fortschreitend gegen die Basis der Geissel hin. Die Folge davon ist eine Vorwärtsbewegung des Organismus, mit der Geissel nach vorn, gegen die Nahrung hin. Aehnlich wirkt ein anderer Reiz, welcher die Molekeln in den Fistellenhohlräumen in ihrer Gestalt entsprechend zu ändern vermag. Erhalten dagegen die Flüssigkeitsmolekeln in den Fistellen ihre sie verändernde Nahrung oder den anregenden Reiz von der Basis der Geissel her, so

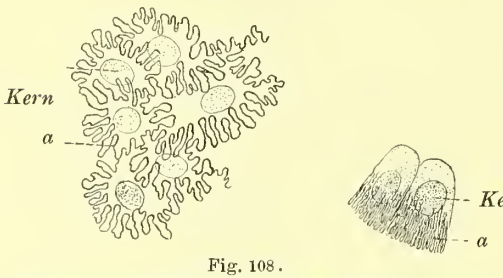


Fig. 108.

Epithelien der gewundenen Kanälchen I. Ordnung vom Meerschweinchen, von der Fläche und von der Seite gesehen. Chromsilbermethode, 590mal vergr. a ineinandergreifende Zacken. Nach Böhm und Davidoff.

schreitet die Krümmung von dieser gegen die Geisselspitze hin fort und es wird demnach der Organismus so vorwärts bewegt, dass die Geissel sich hinten befindet. In der That bewegen sich die Samenfäden der meisten Tiere in der zuletzt angegebenen Weise, während bei sehr niederen Organismen, bei Protisten und bei Pflanzen die Geisselzellen bz. die Samenzellen mit den Geisseln voran sich in Bewegung setzen (OH_1. 65).

Aehnlich wie die Geisselbewegungen kommen die Wimperbewegungen, die Flimmerbewegungen durch Kontraktionen und Expansionen nur einer Längsseite zu stande, durch welche eine Biegung, eine Krümmung der Wimper eingeleitet wird (MV. 255.)

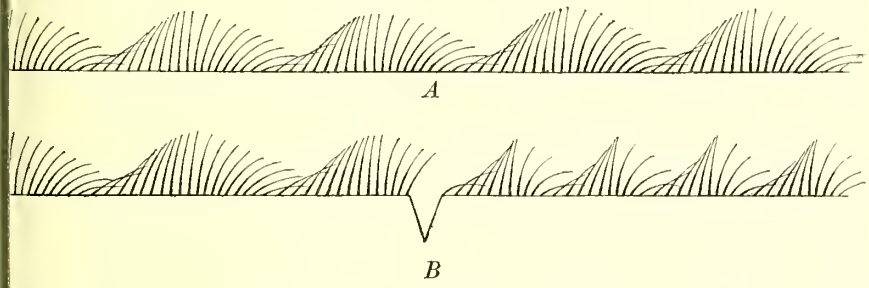


Fig. 109.

A. Intakte Wimperreihe mit ungestörter Metachronie des Schlages. Die oberste (linke) Wimper giebt den Rhythmus an, und die übrigen folgen in demselben Rhythmus nach. B. eine Wimperreihe, die in der Mitte durch einen Einschnitt in zwei Hälften getrennt ist. Jede Hälfte schlägt in eigenem Rhythmus. Nach Verworn.

Die Flimmerbewegung ist eine automatische Bewegung, welche von der Zelle aus ohne Einfluss der Nerventhätigkeit erfolgt. Meist ist sie rhythmisch, aber nicht für alle Flimmern absolut gleichzeitig, so dass scheinbare Wellenbewegungen dieser Flimmerreihen entstehen [1]) (Fig. 109 A) (VM. 253). Die Flimmerhaare schlagen auch ohne Zelle, nur mit einem Tröpfchen Protoplasma, rhythmisch weiter bis zum Tode. Wird die Membran der bt. Zelle durch einen Schnitt geteilt, so funktionieren die Flimmerhaare zu beiden Seiten des Schnittes noch eine Zeitlang, jedoch schlagen sie nunmehr in verschiedenem Rhythmus (Fig. 109 B) (MV. 579). Die letztere Erscheinung hängt mit der Nahrungs-

[1]) Auf die Entstehung solcher automatischer, rhythmischer Flimmerbewegungen werden wir später bei der Erklärung der rhythmischen Herzbewegungen näher eingehen.

zufuhr zusammen, welche für die Erhaltung der Flimmerbewegung, für die zu derselben nötige Energie, erforderlich ist; denn zu beiden Seiten des Schnittes wird nun die Nahrungszufuhr zu den Flimmern offenbar eine ungleiche geworden sein.

Fast bei allen selbständigen Ortsbewegungen von Zellen müssen kontraktile Substanzen mitwirken; so zb. auch bei der Thalassicolla nucleata (Fig. 110), welche im Wasser steigt mittels erzeugter Vakuolen, dagegen sinkt, wenn diese platzen, etwa infolge des Wellenschlags (MV. 234). Bei anderen Protisten (Rhizopodenarten) beobachtet man entsprechende zur Ortsbewegung benutzte Kohlensäureblasen, und Brandt glaubt, dass vielleicht auch bei Thalassicolla gelöste Kohlensäure in den Vakuolen die tiefere Ursache der Ortsveränderungen sein werde (MV. 233—235). Andere Bewegungserscheinungen rühren her von Membranquellung, Turgoränderung, spezifischer Gewichtsänderung, Sekretion, Wachstum (MV. 224).

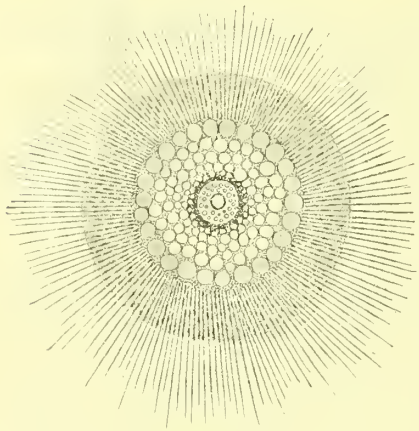


Fig. 110.
Thalassicolla nucleata, eine Radiolarienzelle. Nach Verworn.

Wie wir weiter oben gezeigt haben, muss die Fähigkeit der Reizleitung allen Substanzen eigentümlich sein (S. 155); es wird dies von Verworn für alle lebendige Substanz gleichfalls angenommen (MV. 365). Das lebende Protoplasma ist äusserst reizbar durch physikalische und chemische Agentien (BD. 37 [33]). Wirksam sind je nach Umständen mechanische Reize, zb. durch Stoss, Reibung, Schwerkraft, ferner akustische, thermische, optische, elektrische Reize, sodann ganz besonders auch chemische Reize, von Sauerstoff, von Nährstoffen oder von Wasser ausgehend (MV. 353). Die spezifische Energie für Reize ist nach Joh. Müller die gleiche für alle Reizarten, für eine und dieselbe Substanz; aber sie ist für die verschiedenen Substanzen verschieden (MV. 480). Ob wir also die nervöse Substanz,

welche die Lichtempfindungen zu übertragen hat, mechanisch, akustisch, thermisch, optisch, elektrisch oder chemisch reizen, stets wird dieselbe nur diejenige Reizwirkung erkennen lassen, welche einer Lichtempfindung entspricht. Wenn wir andererseits die nervöse Substanz, welche akustische Empfindungen überträgt, in irgend einer Weise reizen, mechanisch, chemisch usf., so wird sie immer wieder nichts anderes als akustische Wahrnehmungen veranlassen können. Je höher ein Organismus entwickelt ist, um so mehr sind auch die reizleitenden Substanzen desselben differenziert. Schon im Reiche der Protisten beobachtete Osc. Schmidt eine Zunahme der Reizbarkeit mit der Entwicklung derselben (MV_1. 12). Bei unseren Entwicklungen sind wir zu ganz analogen Schlüssen gekommen (S. 171, 175). Es besitzt ferner jede Reizart einen Schwellenwert, bei welchem die Reizwirkung eben erst nachweisbar wird. Bei gesteigertem Reize wird die Reizwirkung immer stärker und stärker, sie erreicht ein Optimum (MV. 355, 356). Jenseits dieses Wertes nimmt sie wiederum ab, um zu verschwinden, wenn die nervöse Substanz so stark in Anspruch genommen wird, dass sie sich zersetzt. Mit diesem Zersetzungsvorgange hört die Reizleitung auf. Die Temperatur spielt eine besonders wichtige Rolle, weil stets bei einer gewissen Temperatur die Reizwirkung am stärksten ist. Diese Temperatur bezeichnet man als Temperaturoptimum (OH_1. 80) (MV_1. 74). Möglicherweise kommt dieselbe der Dissoziationstemperatur der nervösen Substanz sehr nahe.

Die Reizleitungsgeschwindigkeit kann eine verhältnismässig grosse sein, sie kann viele Meter (26—34) in der Sekunde bebetragen (MV. 366). Stets nimmt aber die Grösse des Reizerfolgs mit der Entfernung von der Reizstelle ab (MV. 368). Verschiedene Zellen ordnen sich in folgender Weise bezüglich ihrer Reizleitungsgeschwindigkeit in eine absteigende Reihe ein: Nerv, quergestreifte Muskelfaser, glatte Muskelfaser, Rhizopoden usf. (MV. 369).

Das Arbeiten stärkt das funktionierende Organoid oder Organ (S. 181). Durch den Reiz wird die Ansammlung von Materie vermehrt. Lange anhaltende Reize können Reiznachwirkung und Reizgewöhnung zur Folge haben (OH_1. 77). Es tritt dabei eine Ermüdung, eine Erschöpfung ein (MV. 465). Nach gänzlicher Ermüdung ist doch vollkommene Erholung mög-

lich (MV. 564). Ueberschreiten aber die chemischen Umsetzungen in der nervösen Substanz eine gewisse Grenze, an welche sich die Substanz nicht mehr zu gewöhnen vermag, zb. durch Verwendung starker Narkotica, so tritt Lähmung ein (MV. 474); denn die Reizwirkung besteht in einer Veränderung der spontanen Lebenserscheinungen (MV. 360). Ist der Reiz übermässig stark, so hat derselbe zuletzt sogar den Tod zur Folge (MV. 363).

Mechanische Reizung bewirkt Erregungserscheinungen bei Difflugien, Amöben, Geissel- und Wimperinfusorien (MV. 387). Zahlreiche Infusorien besitzen glatte Muskelfäden (Myoide), welche bei mechanischen Reizen sehr lebhaft zusammenzucken können (MV. 389). Amöben, weisse Blutkörperchen, Rhizopoden suchen nach Verworn bei starken Erschütterungen Kugelgestalt anzunehmen, durch Pseudopodieneinziehung, welche so energisch sein kann, dass Pseudopodien an ihrer Basis losgerissen werden (OH_1. 90). Als mechanische Reize sind auch die Wirkungen der Schwerkraft auf Infusorien und Bakterien aufzufassen (Paul Jensen usf.; MV. 451). Ferner sind die Wirkungen der Schwerkraft und der Berührung auf Pseudopodien (MV. 446), auf Spermatozoen (MV. 448) als mechanische Reize anzusehen. Akustische (rhythmische mechanische) Reizung bewirkt bei Rhizopoden usf. oft den Tetanus, dagegen bei Wimperinfusorien stärkere Flimmerbewegung ohne Tetanus, bei Muskeln wieder Tetanus. Im Tetanus ist der Stoffwechsel nicht eingestellt, wie bei der Lähmung, sondern gesteigert (MV. 390, 392).

Die thermischen Reize bewirken in der Regel eine Zunahme des Stoffwechsels mit wachsender Temperatur, bei tierischen Zellen jedoch nur in solchen, welche „Kaltblütern“ angehören, deren Bluttemperatur bekanntlich eine veränderliche ist. In Zellen von „Warmblütern“, deren Bluttemperatur nahezu konstant bleibt, ist der Stoffwechsel im Winter ein regerer als im Sommer (MV. 394, 395). Ist die Temperatursteigerung eine zu starke, so erfolgt die Wärmestarre bz. der Wärmetod; eine zu starke Temperaturerniedrigung hat die Kältestarre bz. den Kältetod zur Folge (MV. 399, 400). Gewisse Organismen (Bakterien) sollen nach De Bary eine Erhitzung bis zu 140° C. (OH_1. 78), andere nach Pictet eine Abkühlung bis zu — 200° C. ausgehalten haben (MV. 399); indessen haben sich vielleicht bei den bt. Organismen in ihrem Inneren noch Lebensprozesse ab-

gespielt, welche eine von der Aussentemperatur abweichende Innentemperatur hervorbringen konnten. Bei andauernder Wärmestarre zerfällt das Protoplasma schliesslich unter Quellungserscheinungen (OH_1. 79). Aethalium septicum, Amöben, Paramäcium (ein Wimperinfusorium) usf. suchen aus der kälteren in die wärmere Flüssigkeit überzugehen vermöge des Wärmereizes; auch hier findet ein Optimum der Wirksamkeit statt (MV. 457, 458). Bei zu hohen Temperaturen kann die Bewegungsrichtung die umgekehrte sein (MV. 460).

Sehr viele Zellen und Protisten sind für Licht empfindlich. Verworn hat zahlreiche Versuche an Protisten ausgeführt, um die Bewegungen zu bestimmen, welche auf Lichtreize erfolgen (MV_1. 35). Intensität und Wellenlänge des Lichtes bedingen die Bewegungen des Bacterium photometricum (MV_1. 38). Die kurzwelligen Lichtstrahlen sind nach Cohn und Strasburger in der Regel wirksamer als die langwelligen, bei nicht zu grosser Intensität (MV. 456). Lichtempfindlichkeit findet man bei Rhizopoden und bei Infusorien (MV. 404, 405), bei Schwärmsporen, Myxomycetenplasmodien, Bakterien, Algen usf. (MV. 454, 455). Die Kernteilungsfigur in Sporen kann nach Stahl vom Lichte beeinflusst werden (MV. 453). Das für das Pflanzenreich so wichtige Chlorophyll selber entsteht nur unter der Einwirkung von Licht, besonders von rotem Licht (MV. 403). Die Chlorophyllkörper führen eine Orientierungsbewegung gegen das Licht aus, wenigstens gegen gemässigtes Licht (Fig. 111) (SN. 213 [212]). Chlorophyllplatten im Inneren von Pflanzenzellen richten

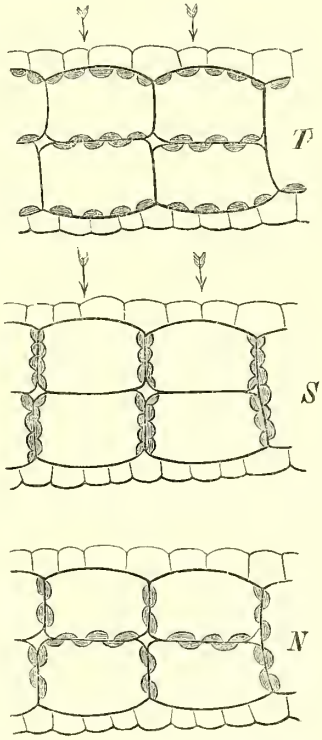


Fig. 111.

Wechselnde Stellung der Chlorophyllkörper in den Zellen der untergetauchten Wasserlinse (Lemna trisulca) bei verschiedener Beleuchtung. T in diffusem Tageslicht, S in direktem Sonnenlicht, N des Nachts. Die Pfeile geben die Richtung des einfallenden Lichtes an. Nach Stahl.

sich je nach der Lichtintensität senkrecht oder parallel den Lichtstrahlen (OH_1. 85). Die Formveränderungen der Chlorophyllkörper im zu intensiven Lichte führen zu Klumpenbildung (SN. 214 [212]).

Organoide, welche ganz besonders auf Licht empfindlich sind, trifft man schon bei den niedersten Lebewesen an. Man findet rote Augenflecke, rote Augenpunkte bei Schwärmsporen von Algen (SN. 285, 289 [283, 287]; OH_1. 227), bei Planogameten (SN. 282 [280]). Schwärmer gehen nicht immer aus-

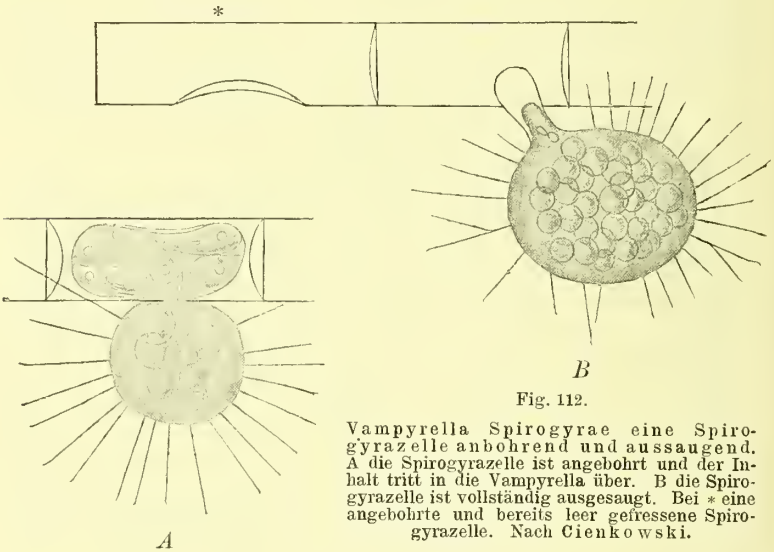


Fig. 112.

Vampyrella Spirogyrae eine Spirogyrazelle anbohrend und aussaugend. A die Spirogyrazelle ist angebohrt und der Inhalt tritt in die Vampyrella über. B die Spirogyrazelle ist vollständig ausgesaugt. Bei * eine angebohrte und bereits leer gefressene Spirogyrazelle. Nach Cienkowski.

schliesslich gegen das ihnen scheinbar zusagende Licht oder Dunkel, sondern wechseln unter sonst gleichen Bedingungen fortwährend, so dass sie abwechselnd zum Licht gehen, umkehren, gegen das Dunkel ziehen, dann wieder gegen das Licht usf. (OH_1. 83). Die Sporen reagieren besonders auf stark brechbare Lichtstrahlen (OH_1. 84).

Elektrische Reize wirken stark auf Protoplasma, Flimmerhaare usf. (MV. 427, 433). Unter dem Einfluss von galvanischen, durch Flüssigkeiten geschickten Strömen bewegen sich Rhizopoden, Leukocyten, Infusorien in bestimmter Richtung, gegen den Strom oder mit dem Strom; Spirostomum ambiguum stellt sich merkwürdigerweise senkrecht zu der Stromrichtung

ein (MV. 461—464). Andere Protisten, zb. viele Meeresrhizopoden, sind gegen Induktionsschläge unempfindlich (MV. 431). Es darf wohl vermutet werden, dass die meisten Reize im Grunde auf chemische Wirkungen, das heisst auf Atomumlagerungen oder auf wirkliche Veränderungen im Atombestand der reizleitenden Substanz zurückgeführt werden müssen.

Bei nur einseitiger chemischer Reizung erfolgen chemotropische Bewegungen (OH_1. 94; BD. 37 [33]). Leukocyten ziehen nach den giftigen Toxinen hin, welche von den Bakterien ausgeschieden werden, und sie vernichten hierauf die Bakterien, wenn sie dieselben finden (MV. 436). Lymphzellen werden durch chemische Reize geleitet (OH_1. 99); ebenso geisseltragende Bakterien, Infusorien, Schwärmsporen, Samenfäden (MV. 437, 440), Amöben, Myxomyceten (Kühnes Versuche MV. 569). Figur 112 stellt Monaden dar, welche ihre Nahrung (Algenzellen) aufsuchen (MV. 153) und welche dabei auf grössere Entfernungen hingeleitet werden, wie wenn sie ihre Nahrung von weitem sehen oder riechen würden. Infolge starker chemischer Reize ziehen Amöben, Rhizopoden ihre Pseudopodien ein, nehmen Kugelform an, Infusorien bewegen ihre Geisseln oder Wimpern zuerst rascher, dann langsamer, Vorticellen kontrahieren sofort ihre Muskeln (MV. 372—373).

Lichtproduzierende Bakterien, Radiolarien, Flagellaten, (Noktiluken, Thalassicollen) leuchten bei chemischen Reizen plötzlich auf (MV. 375), manche von ihnen auch bei elektrischen Reizen (MV. 432). Sehr bekannt ist das Leuchten gewisser Fäulnisbakterien (Bacterium phosphorescens, MV. 258). Nur die lebendigen Zellen können fortdauernd leuchten; doch leuchten auch die Bohrmuschelexkrete (MV. 259). Nach Rodziszewski leuchten viele organische Körper, wenn sie sich in alkalischer Lösung mit aktivem Sauerstoff langsam verbinden (MV. 260).

Nerven und Ganglien werden durch chemische Reize in Erregung versetzt. Eimer, Hofer usf. glauben, der Kern beherrsche nach Art eines nervösen Zentralorgans die Lebenserscheinungen der Zelle, vor allem die Protoplasmabewegungen (MV. 514). Ein solches Zentralorgan scheint aber eher in den Zentralkörperchen der Kernspindel zu liegen (S. 187).

Für die Nahrungsaufnahme, die Verdauung sind noch gewisse Substanzen in den Zellen von grosser Bedeutung, nämlich

Fermente, wie die Diastase, das Ptyalin, das Pepsin usf. Sie führen Kohlehydrate, Fette, Eiweissstoffe in denjenigen „aktiven" Zustand über, in welchem sie allein aufgenommen, verdaut werden (OH_1. 122). Die Fermente sind hochkomplizierte Körper aus dem Tier- und Pflanzenreich, welche gewisse chemische Umsetzungen herbeiführen, ohne, wie es scheint, selber dabei Veränderungen zu erfahren (MV. 160). Soweit es zur Zellvermehrung nötig ist, muss aber auch das Ferment neu gebildet werden. Die Enzyme wirken stets als Fermente, unabhängig von der sie erzeugenden Zelle. Ganze Zellen dagegen, welche wie Fermente wirken (Hefezellen), können getötet werden (mit Aether oder Chloroform). Sie bewirken dann keine Gärung mehr. Aber das in ihnen produzierte andere Ferment, das invertierende Enzym, führt nach wie vor Rohrzucker in Traubenzucker über. Nur die Ueberführung des letzteren in Alkohol und Kohlensäure hört auf, wenn jene Zellen getötet sind (MV. 162).

Der Stoffwechsel spielt bei allen Lebensvorgängen wohl die wichtigste Rolle. Eine Folge des Stoffwechsels ist die Assimilation, die „Angleichung" (EH. 273 [273]). Weismann nennt Assimilation, Wachstum und Fortpflanzung die Attribute des Lebens (AW_4. 75). Nach Hertwig sind Bewegung, Reiz, Stoffwechsel und Fortpflanzung die besonderen Lebenserscheinungen (OH_1. 54). Verworn betrachtet als solche den Stoffwechsel, den Formwechsel und den Energiewechsel, besonders den Stoffwechsel; denn damit sind die beiden anderen Wechsel mit bestimmt (MV. 134). Die Atmung, das heisst die Sauerstoffaufnahme und die Kohlensäureabgabe, ist eine allgemeine Stoffwechselerscheinung (MV. 179). Ohne Sauerstoffatmung giebt es kein Leben, bei Pflanzen und Tieren. Allerdings scheinen einige Ausnahmen von dieser Regel vorzukommen. Denn die sg. Anaërobien, zb. die Cholerabakterien, brauchen keinen Sauerstoff aus der Luft zum Leben; indessen haben dieselben vermutlich eine so grosse Anziehungskraft für den Sauerstoff, dass sie denselben anderen Körpern, anderen Organismen entreissen können (OH_1. 105; MV. 291). Die Lebenserscheinungen sind ausschliesslich an das lebendige Protoplasma gebunden (SN. 133); vorübergehend leblose Organismen, wie Sporen und Samen, überhaupt feste Zellen mit starrer Konsistenz zeigen keine aktiven Lebenserscheinungen (MV. 100).

Der Lebensvorgang besteht in dem Stoffwechsel der Eiweisskörper (MV. 140). Man beobachtet vielfach eine Erhöhung des Eiweisskonsums durch die Arbeit (LH. 309). Eine fortwährende Spaltung und wieder Neubildung der gleichen Molekeln und Molekelgruppen muss zu stande kommen (MV_1. 198). Alle Lebenseinheiten müssen assimilieren, um leben zu können (AW. 13). Je geringer die Arbeitsleistung eines Organismus, eines Organs ist, um so weniger Fistellen werden dabei neu gebildet. Die inneren Molekularvorgänge, die Molekelumsetzungen, bei welchen der Sauerstoff stets eine wichtige Rolle spielt, nennt man intramolekulare Atmung (SN. 187 [186]). Sauerstoffatmung und Assimilation von Kohlensäure treten in jeder Beziehung in Gegensatz zu einander (OH_1. 108), insofern als bei letzterer Kohlensäure verbraucht, Sauerstoff frei gemacht, bei ersterer Sauerstoff verbraucht, Kohlensäure abgegeben wird. Die chemische Assimilationsgleichung sagt aus, dass gleichviel Sauerstoff frei wird, wie Kohlensäure gebunden war (SN. 169 [166, 167]). Wegen dieser Assimilationsvorgänge ist eine Steigerung des Kohlensäuregehalts der Luft günstig bis zu einem gewissen Grade (SN. 170 [167]).

Je nachdem zu viel, genügend oder zu wenig Stoffe da sind für den Stoffwechsel, entsteht Wachstum, Stillstand oder Tod der Molekeln und Molekelgruppen (MV_1. 199). Wird mehr lebendige Substanz im Stoffwechsel gebildet, als zerfällt, so haben wir das Wachstum (MV. 194). Die Lebensvorgänge beobachtet man indessen gewöhnlich nur am gesamten Protoplasma oder an grösseren Teilen desselben. Die Thätigkeit des Protoplasmas bei dem Schwellen der Pflanzenzellen ist eine notwendige (SN. 198 [196]). Ueberall da, wo ein reger Stoffaustausch stattfindet und dieser Stoffaustausch bestimmte Bahnen einhält, lässt sich eine regelmässig fibrilläre Struktur erkennen (OH_1. 262). Die Protoplasmaströmung kann in Pflanzenzellen eine so lebhafte sein, dass durch dieselbe der Zellkern mitgerissen wird (OH_1. 172). Indessen ist dieses Mitreissen vielleicht nur ein scheinbares. Denn der Zellkern ist fast immer nahe den Stellen des stärksten Wachstums der Zellteile (OH_1. 259). Nach Haberlandt lagert sich der Kern von Pflanzenzellen immer da an, wo die Wand der Zelle besonders verändert, verstärkt werden muss, sei es mit oder ohne vorherige Verletzung, also da, wo hauptsächlich Wachstum stattfindet (MV. 520).

Die Fähigkeit der Assimilation haben in besonders bemerkbarer Weise die Chlorophyllkörperchen, welche im Lichte aktive Veränderungen erfahren (OH_1. 131). Nur im Chlorophyll wird anorganische in organische Materie umgesetzt. Alle Tiere sind also Schmarotzer; sie benutzen die Pflanzen zu ihrem Leben, mit wenigen Ausnahmen (SN. 166 [163]). Im Pflanzenreich wird insbesondere die Kohlenstoffgewinnung aus der Kohlensäure der Luft als „Assimilation" bezeichnet. Das Licht ist dabei unerlässlich, besonders rot, orange, gelb. Diese Farben verschieben sich indessen nach Engelmann in ihrer Wirksamkeit bei blaugrünen Süsswasseralgen, welche in den Chromatophoren neben ihren besonderen Farben noch Chlorophyll enthalten (SN. 167 [165]). Die Abhängigkeit der kohlensäurespaltenden Thätigkeit der Chlorophyllkörper vom Lichte ist nach Verworn eine ausserordentlich enge (MV. 222). Licht und chemische Energie sind zur Assimilation nötig, ersteres mehr auslösend (MV. 554). Die Pflanzenzelle „schafft" unter Einwirkung der Lichtstrahlen chemische Energie aus den von ihr aufgenommenen Stoffen (MV. 556). Rotes Licht und grosse Intensität bedingen besonders die Assimilation (MV. 222). Nach Noll sind bei dem Wachstum der Pflanzen die brechbareren violetten Lichtstrahlen wirksamer als die rotgelben; sogar die chemischen Strahlen sind wirksam (SN. 204 [203]). Nach unseren früheren Entwicklungen können ohne Zweifel im einen Falle, das heisst bei gewissen Substanzen, die roten, bei anderen die gelben, bei anderen die grünen oder die blauen oder die violetten Lichtstrahlen das Wachstum besonders begünstigen. In neuerer Zeit wird ganz allgemein die Aufnahme von Nahrung und die Umwandlung derselben in die eigene Leibessubstanz als Assimilation bezeichnet, auch im Tierreich (zb. AW. 5; MV. 155).

Durch den Assimilationsvorgang der Chlorophyllkörner entstehen Kohlehydrate in Form von Stärke oder fette Oele (SN. 168 [166]). Nach Sachs wird bei wechselnder Beleuchtung in Chlorophyllkörnern Stärke gebildet oder sie wird wieder aufgelöst (MV. 164). Bei Stärkebildung nimmt in vielen Fällen (nicht in allen) die Chlorophyllsubstanz in entsprechendem Masse ab (OH_1. 119). Die Stärke ist das in fester Form abgeschiedene Lagerprodukt der Assimilation (SN. 168 [166]). Aus der Stärke werden dann die höheren Verbindungen zusammen-

gesetzt: andere Kohlehydrate, Fette, Eiweisskörper, mit den sonst noch verfügbaren Substanzen zusammen. Wie dies geschieht, ist noch unbekannt, ausser der Umwandlung der Stärke in lösliche Kohlehydrate (Zucker) oder in fette Oele (MV. 165). Die Umbildung der Kohlehydrate in Eiweiss erfolgt zum Teil schon in den grünen Zellen der Blätter (SN. 171 [168]). Manche Stoffe werden in analoge Reservematerialien umgewandelt, wie Stärke ein solches ist, und harren des Gebrauchs (MV. 166). Fettbildung (Kugeln, Tropfen) verändert den Zellbau stark, weniger Pigment, gelöst oder als Kristall im Protoplasma enthalten (BD. 38 [34]). Nitraten und Sulfaten wird N bz. S entrissen, für die Nucleine im Zellkern wird aus den Phosphaten die Säuregruppe verbraucht (SN. 171 [168]). Das Protoplasma scheint fortwährend Stoffe zu erzeugen, welche des Sauerstoffs bedürfen, und zwar letzteres so sehr, dass sie die protoplasmatischen Substanzen selber zersetzen, spalten, wenn nicht freier Sauerstoff zu ihrer Sättigung vorhanden ist (SN. 188 [186]).

Ausser dem Licht haben noch Einfluss auf das Wachstum: Temperatur, Sauerstoff-, Kohlensäure-, Feuchtigkeitsgehalt der Luft, atmosphärische Elektrizität, Zug- und Druckkräfte (SN. 203—205 [201—203]), überhaupt ganz verschiedene Reizwirkungen. Die Art ihrer Verkettung ist aber noch unbekannt. Richtungsreize werden von dem ruhenden Teil des Protoplasmas, das heisst von der Hautschicht aufgenommen (SN. 218 [217]). „Der funktionelle Reiz kräftigt ein Organ“ nach Roux. Durch „Intraselektion“ wird das Gewebe verbessert (AW. 7) (Beispiel: Knochenbälkchen). Wir haben weiter oben im dritten biologischen Fundamentalsatz noch spezieller uns folgendermassen ausgedrückt: „Die Funktion erhöht das Bestreben der Substanz, sich zu vermehren.“ Jedes Organ, jedes Organoid, welches arbeitet, wird dadurch gekräftigt, die nervösen Organoide mit inbegriffen (S. 181).

Die Zellwände sind ursprünglich dünn, sie wachsen dann zuerst der Fläche nach, erst wenn sie ausgewachsen sind, noch der Dicke nach (SN. 64, 205 [51, 204]). Eine mechanische Dehnung der Zellwände durch den Turgor ist für das weitere Wachsen der Zellwände nötig; doch ist auch die Protoplasmawirkung dabei unerlässlich. Infolge dieser Dehnung wird das Wachstum durch Intussusception besonders begünstigt, das Dicken-

wachstum der Zellwände erfolgt dagegen durch Apposition (SN. 67, 199 [51, 197]; OH_1. 137). Eine grosse Bedeutung hat nach Verworn das Verhältnis der Oberflächenvergrösserung zur Volumenvergrösserung. Nach demselben lässt sich die Teilung, die Fortpflanzung der Zellen durch Oberflächenvergrösserung erklären. Alle Stoffwechselverhältnisse ändern sich mit der Oberflächenvergrösserung ohne Volumenvergrösserung (MV. 536, 537), mit der Aenderung der Schichtdicke. Eine typische „Entwicklung" der Zelle erfolgt, wenn diese Stoffwechselveränderungen eintreten (MV. 539). Innere und äussere Ursachen bedingen die Formänderungen der Zelle bei ihrer Entwicklung (MV. 542). Die Grösse jeder Zellform hat aber ein bestimmtes Optimum, ein Mass, das nicht leicht überschritten wird (MV. 194).

Alle Molekeln, Fistellen, Organoide, alle Zellsubstanzen assimilieren, wenn die passende Nahrung für dieselben herbeigeführt wird. Dabei werden nicht nur ausschliesslich gleichartige Stoffe erzeugt, sondern auch solche ungleichartige, welche mit den assimilierenden Substanzen in einem gewissen Gegenseitigkeitsverhältnisse der Resonanz stehen. Demzufolge wird eine von diesen letzteren Substanzen doch wieder neu erzeugt, wenn sie aus irgend einem Grunde abhanden gekommen ist (S. 76). In der That heilt das Protoplasma Wunden (OH_1. 258). Auf die Protoplasmabewegung und auf die Kernbewegung haben Verwundungen wesentlichen Einfluss (SN. 214 [213]). Eine zerschnittene Zelle lebt aber nur dann weiter, wenn in dem bt. Teilstück etwas Protoplasma, sowie etwas Kernsubstanz vorhanden ist (MV. 301). Zwar kann nach Demoor eine Zelle, auch wenn ihr Protoplasma ausser Funktion gesetzt wurde, noch Nahrung aufnehmen und eine Kernteilung zu stande bringen; allein zur Cellulosebildung ist das Protoplasma notwendig (MV. 519). Klebs hat Zellen von Spirogyrafäden in Stücke mit und ohne Kern geteilt. Nur erstere entwickelten sich normal; doch behielt das Plasma in letzteren gewisse Funktionen bei: war Chlorophyll anwesend, so konnte noch Stärke entwickelt werden (OH_1. 264).

Verworn bezeichnet den leblosen Zustand, in welchem keine Lebenserscheinungen sich zeigen, als den Zustand des Scheintodes (MV. 136), aus welchem ein Wiederaufleben, eine Anabiose, möglich ist, zum Unterschied vom Tode. Lebloses

Eiweiss, dasjenige der Samen, der Eier usf. ist schwerer zersetzlich als lebendes. Totes Eiweiss ist dagegen in der Regel leichter zersetzlich als lebendes. Es greift die Verwesung ein, welche Zersetzungen herbeiführt. Verworn nennt dies Dissimilation, zum Unterschiede von der Assimilation (MV. 493). Der Tod der Organismen kann erfolgen, wenn sie keine Nahrung mehr aufnehmen, oder wenn sie Sekrete oder Exkrete nicht mehr ausscheiden können (MV. 531, Versuche mit Bakterienkulturen). Er erfolgt, wenn Stoffe ins Zellinnere gelangt sind, welche giftig sind, weil sie zu übermässiger Zersetzung des lebenden Eiweisses führen. Der Tod kann auch herbeigeführt werden durch zu starke Reize, etwa durch zu tiefe oder durch zu hohe Temperatur, in welche die Zellen gebracht werden. Doch haben Koch, Brefeld usf. gefunden, dass gewisse Bakteriensporen bei Temperaturen von über 100° C. noch nicht zerstört werden. Wahrscheinlich befinden sich in solchen Sporen nur noch Eiweisssubstanzen, welche dem Gerinnen nicht mehr ausgesetzt sind (MV. 296).

Beim Absterben von Zellen werden die Substanzen wenigstens teilweise in andere Substanzen umgewandelt (BD. 50 [46]). Verworn fand neutrale oder alkalische Reaktion bei lebender, saure bei toter Substanz (MV. 484). Man beobachtet eine Trübung, Gerinnung, einen Zerfall des Protoplasmas beim Tode (OH_1. 106). Diese Trübung der Substanz beweist uns, dass im Inneren derselben überall unregelmässige Dichteänderungen eingetreten sind. An allen Stellen, an welchen ungleich dichte kleinste Teilchen miteinander vermischt sind, werden Totalreflexionen auftreten. Das Licht wird diffus reflektiert und die Substanz erscheint uns trübe. Viele flüssige organische Stoffe, viele Eiweissstoffe gerinnen auch beim Kochen, bei starker Erwärmung. Es rührt wohl das Gerinnen organischer Substanzen vielfach davon her, dass sich ihre Fistellen umwandeln in stabilere Fistellen, welche sich mit Nachbarfistellen fester zusammenschliessen, dass sodann in die Fistellenhohlräume andere Flüssigkeitsmolekeln eindringen, vielleicht Atomkomplexe von bereits zersetzten Fistellen der bt. Substanz.

Der Zerfall der Zellen ist gewöhnlich kein plötzlicher. Zwar können gewisse verwundete Infusorien förmlich zerstieben und so plötzlich vom Leben zum Tode übergehen (MV. 331).

Doch ist in der Regel wenigstens der Uebergang vom Leben zum Tode ein allmählicher, und es ist rein willkürlich, wenn wir den einen oder den anderen Augenblick dieses Ueberganges als den Zeitpunkt des Todes auffassen. In einer anscheinend toten Zelle können noch lebende Substanzen vorhanden sein, welche assimilieren. In einer lebenden Zelle sind stets Substanzen da, welche sich zersetzen, welche „dissimiliert“ werden. Gewinnen die Zersetzungen notwendiger Substanzen die Oberhand über die Neubildungen durch Assimilation, so beginnt der Tod. Das langsame Absterben bis zum Tode nennt man Nekrobiose. In einer organisierten, aus Fistellen in dicken Schichten aufgebauten Substanz ist die Möglichkeit des Zerfalls ganz besonders vorhanden für die innersten Schichten, die von der Nahrungszufuhr fast ganz abgeschnitten sind. Dort befindliche Fistellen zerfallen, bilden sich zu anderen Substanzen um; an der äusseren Oberfläche der Substanz werden dagegen neue Fistellen angesetzt, solange Nahrung vorhanden ist, so dass die Substanz fortwährend innen zerfällt, aussen sich regeneriert.

Zur Nahrung gehört ausser den gewöhnlich als Nahrung im engeren Sinne bezeichneten Stoffen noch Wasser, Sauerstoff, Wärme in gewissen Temperaturgrenzen, Druck in gewissen Grenzen (MV. 276), Licht usf. Pflanzen haben insbesondere noch Kohlensäure nötig. Für Tiere ist Eiweiss die Urnahrung (MV. 147), jedoch muss es gelöst sein: „Corpora non agunt nisi soluta“. Also ist eine Verdauung geformter Nahrung nötig, welche man als intracellulare oder als extracellulare Verdauung bezeichnet, wenn feste Substanzen entweder als solche ins Zellinnere aufgenommen und dort aufgelöst werden oder durch Resorption ins Zellinnere gelangen. Dabei wirken Verdauungssekrete mit, Enzyme oder gelöste Fermente. Mit dem Pepsin der Magendrüsenzellen werden Eiweisskörper in Peptone verwandelt, also in Körper, welche durch organische Membranen diffundieren (MV. 156). Die Peptone sind Hydrate der ursprünglichen Eiweissmolekeln und entstehen durch Wasseraufnahme derselben. Die Peptonmolekeln sind viel kleiner als die Eiweisskörper, und sie diffundieren daher durch Membranen, ohne in chemischer Beziehung die Eigenschaften der Eiweisskörper zu verlieren. Die Eiweisskörper können auch gerinnen, aber die Peptone nicht (MV. 109). Geformte Nahrung können viele einzellige In-

dividuen mittels eines Mundes aufnehmen, wie Geisselinfusorien, Wimperinfusorien, andere ohne Mund, zum Teil durch Umfliessen der Nahrung, wie Rhizopoden, weisse Blutkörperchen, amöboide Wanderzellen, amöboide Eizellen, Darmepithelzellen usf. (MV. 148; OH_1. 116).

Jede Zelle muss die Fähigkeit haben, die ihr passende Nahrung auszuwählen; denn sonst würde die bt. Zellart aus Nahrungsmangel zu Grunde gehen. Nur die mit entsprechend günstigen Eigenschaften ausgestatteten Zellen können am Leben bleiben und sich fortpflanzen (S. 178). Auf diese Thatsache der Nahrungsauswahl macht Verworn bei den Zellen besonders aufmerksam. Jede Zelle sucht die ihr zuträgliche, für sie nötige Nahrung. Bei hochorganisierten Tieren nehmen alle möglichen verschiedenen Zellen dem Blute (manche wohl auch nur ihren Nachbarzellen) ganz verschiedene für sie nötige Nahrungsstoffe weg. Das Blut ist für solche Zellen die gemeinsame Ernährungsflüssigkeit (MV. 152, 153).

Ist die zum Wachstum notwendige Nahrung so reichlich vorhanden, dass Wachstum über das normale Mass einer Zelle hinaus stattfindet, so kommt die Fortpflanzung zu stande (MV. 537), welche stets aus einer Zelle wieder eine fast genau gleiche Zelle entstehen lässt (S. 181); daher sagt Virchow: omnis cellula e cellula (MV. 124). Nicht genau gleich wird die Tochterzelle der Mutterzelle, weil niemals eine Tochterzelle mathematisch genau die gleiche Nahrung erhält wie ihre Mutterzelle, wobei wir „Nahrung“ als allgemeinsten Begriff aller zum Leben erforderlichen Stoffe und Wirkungen bezeichnen. Ferner müssen verschiedene Tochterzellen einer und derselben Mutterzelle stets Abweichungen voneinander zeigen in ihrer Konstitution, sowohl morphologisch als chemisch, wenn auch diese Abweichungen noch so gering sind. Denn die Mutterzelle erhält nicht jederzeit genau gleiche Nahrung, sie erhält auch nicht an jeder Stelle ihres Innenraumes gleiche Nahrung. Wenn aber die Nahrung merklich geändert wird, so ändern sich auch die assimilierten Molekeln und Fistellen (S. 179), wobei indessen die Korrelation der Teile untereinander für richtige, übereinstimmende Veränderungen sorgt (S. 180). Auf diese Weise erhalten wir eine Variation in den Substanzen der Tochterzellen und eine entsprechende Variation des „Keimplasma“, um Weismanns Bezeichnungsweise zu ge-

brauchen. Weil nämlich bei veränderter ihr zugeführter Nahrung die Zelle ihren eigenen Bestand, einen Teil ihrer Molekeln und Fistellen zuerst ändert, bevor sie ungleiche Tochterzellen erzeugt, so müssen wir sagen, die Zelle habe neue Eigenschaften angenommen, sie habe Eigenschaften während ihres Lebens erworben, und diese erworbenen Eigenschaften vererbt sie ganz oder teilweise auf ihre Tochterzellen. Sobald die äusseren auf die Zelle ausgeübten Wirkungen, sobald ihre gesamte „Nahrung" sich ändert, nimmt die Zelle neue Eigenschaften an und sie vererbt dieselben teilweise auf die in diesem Stadium entstandenen Tochterzellen. Es kommt die „Vererbung erworbener Eigenschaften" zu stande, welche von Weismann bekanntlich bekämpft wird (AW, AW_{12345}.)

Virchows Satz kann sich nur auf diejenigen Zellen beziehen, welche gleichsam unter unseren Augen entstehen. Dass eine Urzeugung, welche schon von Haeckel und anderen behauptet wurde (EH. 350 [350]), mathematisch gesprochen, möglich ist, haben wir im vorigen Abschnitt (S. 204) nachgewiesen. Pflüger schreibt dabei der Cyangruppe CN im Eiweiss eine besondere Rolle zu und er glaubt, dass Cyanverbindungen den Anstoss zu organisierter Materie überhaupt gegeben haben. Er hebt die Analogien hervor, welche zwischen der Gruppe HCNO und dem lebendigen Eiweiss stattfinden. Beide Körper polymerisieren sich, sie gerinnen, zersetzen sich bei Anwesenheit von Wasser von selbst in Kohlensäure und Ammoniak, sie liefern Harnstoff durch intramolekulare Umlagerung, nicht durch direkte Oxydation. Weil die Cyanverbindungen in der Glühhitze entstehen, glaubt Pflüger, dass in der ersten Abkühlungsperiode der Erdoberfläche, also noch im Zustande der glühenden Erdoberfläche, solche Cyanverbindungen entstanden seien, aus denen

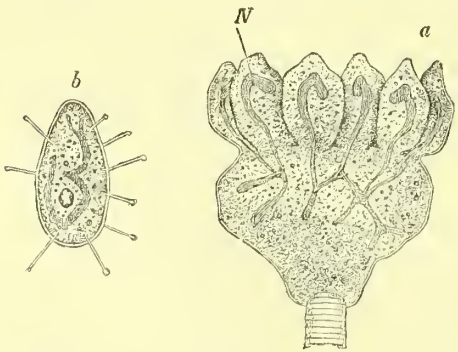


Fig. 113.

Zellknospung. Podophrya gemmipara mit Knospen. Nach R. Hertwig (Zoologie, Fig. 21) a Knospen, die sich ablösen und zum Schwärmer b werden. N Kern.

sich dann die organische Materie gebildet habe (MV. 310, 311). Wir haben in unserer Theorie die erste Entstehung des Lebens (Urzeugung) etwas anders aufgefasst.

Die Fortpflanzung der Zellen geschieht besonders häufig

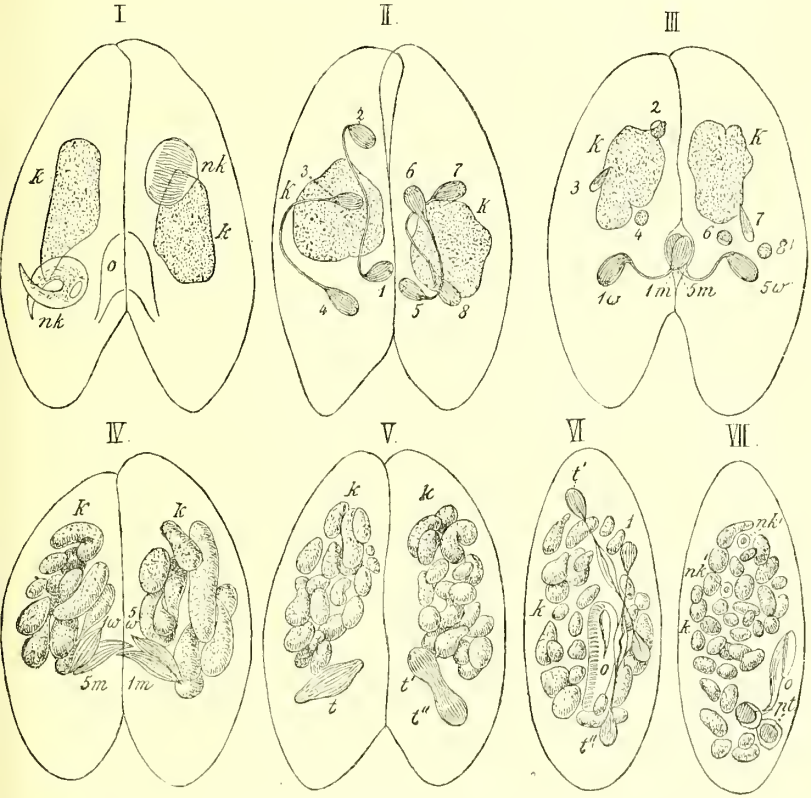


Fig. 114.

Konjugation von Paramäcium in verschiedenen aufeinanderfolgenden Stadien. k Hauptkern, nk Nebenkern. I. Beginn der Konjugation. II. Der Nebenkern hat sich zweimal hintereinander geteilt. III. Von den vier Teilstücken des Nebenkerns gehen drei zu Grunde, der vierte teilt sich nochmals in einen männlichen (m) und einen weiblichen (w) Kern. IV. Während der Hauptkern zerfällt, werden die beiden männlichen Kerne 1m und 5m ausgetauscht und vereinigen sich mit den weiblichen zu einem Kerne V. t, der sich weiter teilt in t' und t''. VI. t' und t'' teilen sich nochmals. VII. Aus dieser Teilung entstehen die Anlagen des neuen Hauptkerns (pt) und des neuen Nebenkerns (nk'). Der alte Hauptkern geht zu Grunde. Nach R. Hertwig (Zoologie, Fig. 141).

durch Zellteilung, bei welcher zwei oder mehr annähernd gleiche Tochterzellen aus einer Mutterzelle entstehen. Protoplasmareiche Zellen teilen sich rascher als protoplasmaarme (OH_1. 180). In vielen Fällen tritt Zellknospung ein, bei welcher die Tochter-

zellen anfänglich kleiner als die Mutterzellen sind und erst nachträglich wachsen (Fig. 113) (OH_1. 170).

Gewisse Zellen, besonders viele Infusorien, pflanzen sich mittels Befruchtung fort, welche durch Kopulation zweier anscheinend gleicher Individuen zu stande kommt (Fig. 114) (MV. 205). Colpoda cucullus (ein höher differenziertes bohnenförmiges Infusorium) entwickelt sich durch Sporenbildung (Fig. 115) (MV. 210). Gewisse Bakterien bilden ungeschlechtliche Dauersporen (SN. 270

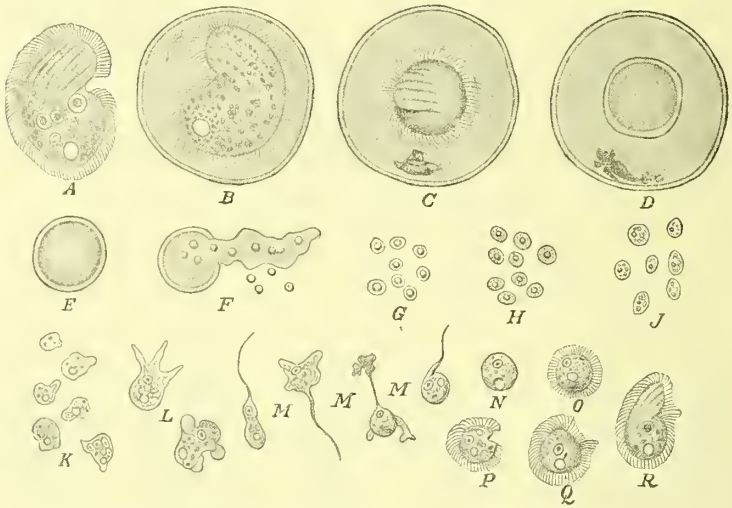


Fig. 115.
Entwicklungsgeschichte von Colpoda cucullus. Nach Rhumbler.

[266]). Bei der Kernteilung macht der Zellkern oft merkwürdige Veränderungen durch. Er wechselt seine Form, seine Grösse, oder er löst sich auf und wird neu gebildet (MV. 522). Das letztere geschieht nach R. Hertwig bei der Konjugation (MV. 523). Bei Infusorien spalten sich Hauptkern, Nebenkern und ganzes Infusor in einfachster Weise (Fig. 116) (OH_1. 212).

Ganz besonderes Interesse ist stets der Kernteilung zugewandt worden, weil sie bei den meisten Zellen sehr charakteristische Erscheinungen erkennen lässt. Man unterscheidet drei Arten der Kernteilung, die direkte, die indirekte, welche wir im letzten Abschnitt an Hand der thatsächlichen Ergebnisse verschiedener biologischer Forscher ausführlich entwickelt haben (S. 183), und die endogene Teilung, welche dadurch zu stande

kommt, dass nur der Kern sich teilt, während die Zelle als ganzes keine Teilung eingeht (OH_1. 145). Denn Kernteilung und Zellteilung gehen nicht immer parallel (SN. 54 [67]). Bei der Kernteilung wirken Schwerkraft und Lage der Lichtquelle unter Umständen bestimmend auf die Richtung der ersten Teilwand ein (SN. 193 [191, 192]). Es kommen die Pole der Teilungsfigur in die Richtung der grössten Protoplasmamassen zu liegen (OH_1. 175). Beim Beginn der indirekten Kernteilung erscheinen die Polkörperchen unmittelbar an der Oberfläche der Kernmembran; diese ist häufig eingefallen, als ob aus einer kleinen Oeffnung Kernsaft ausgetreten sei (OH_1. 165). Dann wird die Kernmembran völlig aufgelöst (BD. 40 [36]). Nun bildet sich die Kernspindel aus und es folgen die Vorgänge, die wir schon weiter oben beschrieben haben (S. 184). Die Kernspindel gleicht der Figur, welche um die Enden eines Magnets entsteht, die in Eisenfeilspäne eingetaucht sind (OH_1. 146). Die Spindelstruktur entzieht sich aber wegen ihrer Feinheit während des Lebens der Beobachtung ganz (OH_1 156). Es giebt Kerne, welche nur zwei, andere, welche bis zu 24 Kernsegmente besitzen (BD. 53 [49]).

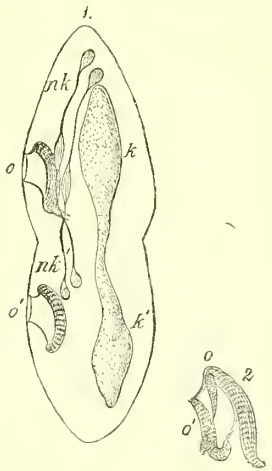


Fig. 116.

Paramaecium aurelia in Teilung, daneben in Fig. 2 die Art, wie auf einem früheren Stadium das Cytostom des hinteren Tieres durch Abschnürung vom vorderen entsteht. Nach R. Hertwig (Zoologie, Fig. 140). k Hauptkern, nk Nebenkern, o Mundöffnung des vorderen Teilstückes, k' nk' o' des hinteren Teilstücks.

Etwas abweichend ist die indirekte Kernteilung in den Spermatocyten (BD. 45 [42]). In gewissen Zellen entstehen Ringkerne, Lochkerne, welche nachher in viele Kerne zerfallen (OH_1. 168; BD. 46 [43]). Wie ganze Zellen, so können sich auch grössere Individuen, zb. Korallentiere, in zwei gleiche Tochterindividuen teilen (EH 171 [171]). Es teilen sich direkt durch Einschnürung in gleiche Teile die Chlorophyll-, Stärke-, Farbstoffbildner, die Kernsegmente (Fig. 117a) (OH_1. 131, 274).

Die einzelnen Teile, die Organoide einer Zelle entwickeln sich nicht ganz unabhängig, sie stehen vielmehr in Korrelation untereinander, wie wir weiter oben erläutert haben, analog wie

die Organe eines Zellenstaates, eines höher entwickelten Individuums (OH$_3$. 114). Die Veränderung eines Teils der Zelle ruft unmittelbar Veränderungen aller übrigen Teile derselben. Fehlt einer Zelle ein solcher Teil, eine Substanz oder ein Organoid, aus irgend einem Grunde, so kann derselbe unter Umständen regeneriert werden. Zerschnittene Stentoren (einzellige Protisten) können sich zu vollständigen Individuen regenerieren; und zwar wird jedes

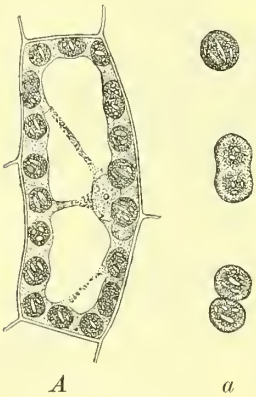


Fig. 117.
A Eine Pflanzenzelle mit Chlorophyllkörpern. a ein Chlorophyllkörper in Teilung begriffen. Nach Sachs.

Fig. 118.
Bakterien des Zahnbelags. a Leptothrix buccalis, bei a* nach Jodbehandlung, b Micrococcus, c Spirillum dentium nach Jodbehandlung, d Kommabacillen der Mundschleimhaut. Vergr. 800. Nach Strasburger.

Teilstück zu einem neuen Individuum, wenn es einen genügenden Kernanteil erhält (MV. 64). Nur kernhaltige animale Stücke können sich regenerieren (OH$_1$. 264). Lacrimonia olor-Teile ohne Kern sterben nach einem Tage, bleiben aber so lange noch reizfähig und bewegen sich noch (MV. 516). Klebs hat, wie wir schon erwähnten, durch chemische Mittel Protoplasmastückchen vom Kerne abgetrennt, in Zellen von Spirogyrafäden, und er beobachtete noch 6 Wochen lang ein Leben an solchem Protoplasma, eine Nahrungsaufnahme, aber auf die Dauer blieben solche Stücke nicht lebensfähig (OH$_1$. 264; MV. 524). Protoplasmastückchen von kernlosen Pseudopodien von Difflugien vermögen sich sogar noch fortzubewegen, haben aber doch die Fähigkeit zu wachsen, zu einem vollständigen Organismus sich auszubilden und sich fortzupflanzen, verloren (MV. 572).

Viele von den einzelligen Protisten sind sehr einfache In-

dividuen, wie zb. viele Bakterien (Fig. 118); andere können einen ungemein komplizierten Bau aufweisen, welcher durchaus an höher entwickelte vielzellige Individuen erinnert. Als solche stark differenzierte einzellige Individuen nenne ich ausser Actinosphärium Eichhornii (Fig. 119), Orbitholites complanatus (Fig. 120), Geissel- und Wimperinfusorien (Fig. 121), zum Teil mit völlig ausgebildetem Mund (Para-

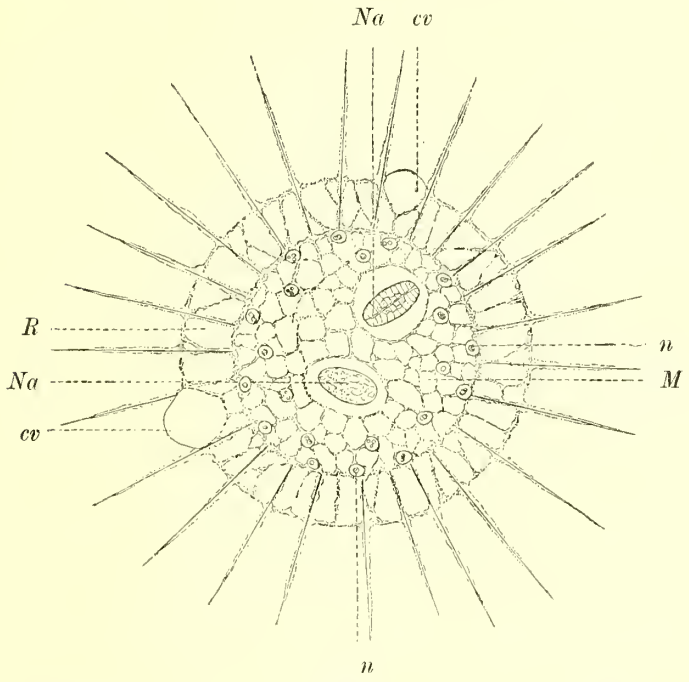


Fig. 119.

Actinosphärium Eichhornii. Nach R. Hertwig (Zoologie, Fig. 117). M Marksubstanz mit Kernen (n). R Rindensubstanz mit kontraktilen Vakuolen (cv). Na Nahrungskörper.

mäcium, Fig. 114, 116, S. 249, 251), noch die komplizierten Nesselzellen (Fig. 122) (OH_1. 134), sowie die Caulerpa, welche einer hochentwickelten Pflanze mit Wurzeln, Stengeln und Blättern ähnlich sieht, innen netzartig verbundene Zellstoffbalken besitzt und dennoch nur ein einzelliger Thallophyt ist (Fig. 123) (SN. 286 [285]).

Gleichfalls sehr kompliziert werden die Lebenserscheinungen der höher differenzierten Protisten, die Fortbewegung,

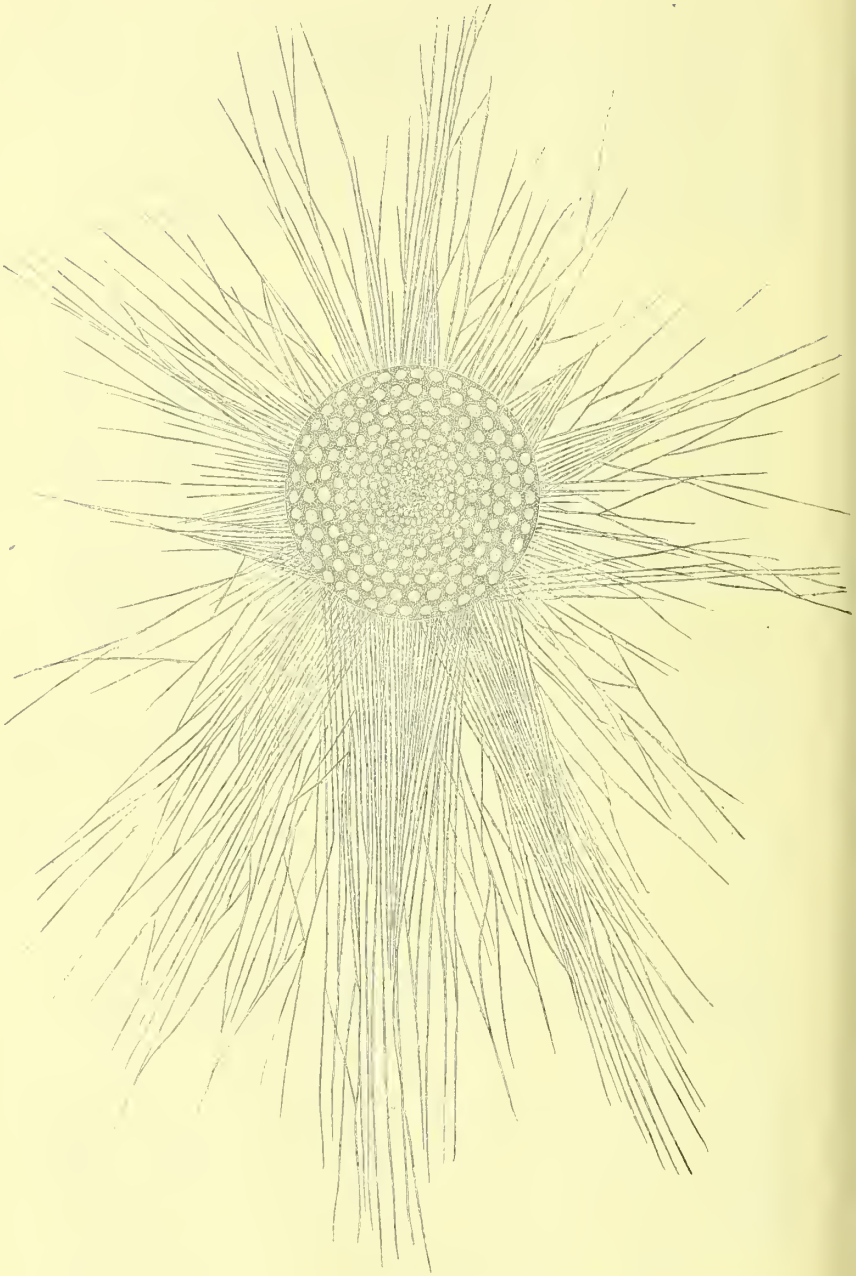


Fig. 120. Orbitholites complanatus, eine Rhizopodenzelle aus dem roten Meer. Vergr. 40. Nach Verworn.

das Aufsuchen der Nahrung, die Verdauung, der Einfluss äusserer Reize usf. Allein alle diese komplizierten Vorgänge setzen sich aus einfachen zusammen, und einfache sowohl als auch manche komplizierte Vorgänge haben wir in den früheren Abschnitten Schritt für Schritt abzuleiten und zu entwickeln vermocht. Es würde zu weit führen, hier auch nur die wich-

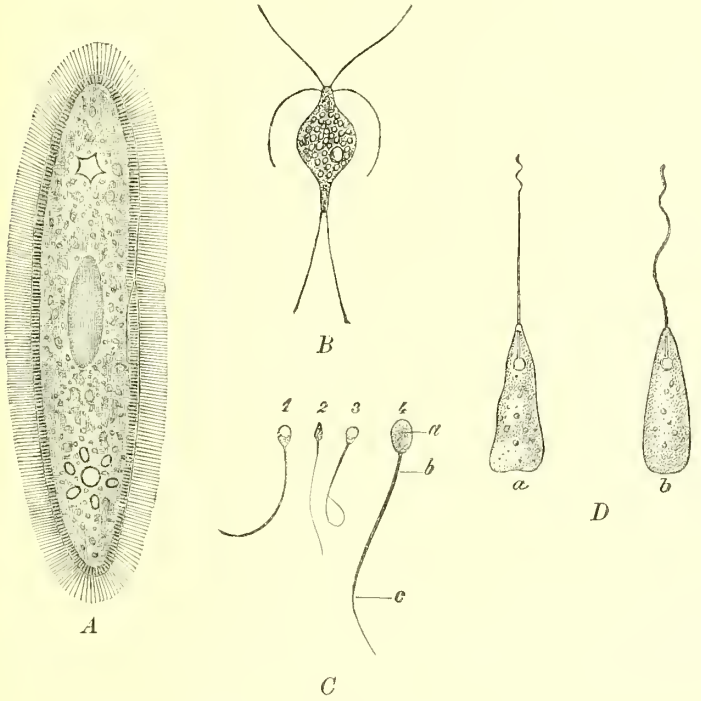


Fig. 121.

A Paramaecium aurelia, ein Wimperinfusorium. Nach Verworn. B Hexamitus inflatus, ein Geisselinfusorium mit sechs Geisseln. Nach Stein. C Spermatozoen vom Menschen. a Kopf, b, c Geissel. Nach Stöhr. D Paranema, ein Geisselinfusorium, a schwächer, b stärker mit seiner Geissel schlagend. Nach Verworn.

tigsten von den bekannten Protisten, von den übrigen einzelligen Lebewesen, wie Eier und Samenfäden, von den Zellen der höher entwickelten Individuen bis in ihre Einzelheiten hinein verfolgen, alle ihre Bewegungen, ihre Stoffwechselvorgänge, ihre Vermehrung genau zergliedern und auf die einfachsten Ursachen zurückführen zu wollen. Dazu wären allein Bände nötig. Ausserdem sind die Erscheinungen an solchen einzelligen Organismen noch

lange nicht so gründlich untersucht, dass man aus den Beobachtungen zweifellos sichere Schlüsse ziehen könnte. Und endlich sind die feinsten Teile in den Zellen überhaupt niemals

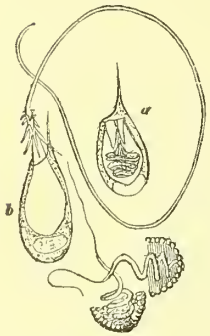


Fig. 122.

Nesselzellen der Cnidarien (aus Lang). Nach R. Hertwig (Zoologie Fig. 161). a Zelle mit Cnidocil und einem in der Kapsel aufgerollten Nesselfaden b Nesselfaden aus der Nesselkapsel hervorgeschleudert, an der Basis mit Widerhacken bewaffnet. c Klebzellen einer Ktenophore.

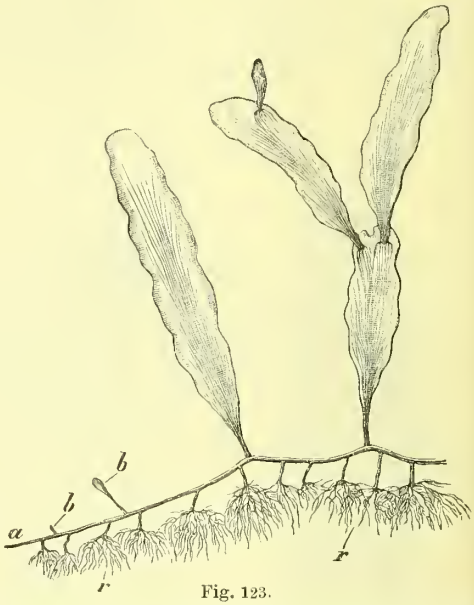


Fig. 123.

Caulerpa prolifera. Die feinen Linien auf den Thallusblättern bezeichnen die Plasmastromungen, a fortwachsende Spitze der Thallusachse, b b junge Thalluslappen, r Rhizoide. ½ nat. Gr. Nach Strasburger.

direkt wahrnehmbar, weil ihre Dimensionen Tausende von Malen kleiner sind als diejenige Grösse, welche wir mit unseren besten Mikroskopen eben noch zu sehen im stande sind. Es muss also das hier Entwickelte über diese merkwürdigen einfachsten Lebewesen einstweilen genügen.

DIE ENTSTEHUNG DES LEBENS

II

DIE

ENTSTEHUNG DES LEBENS

AUS MECHANISCHEN GRUNDLAGEN ENTWICKELT

VON

PROF. DR. LUDWIG ZEHNDER,

PRIVATDOZENT AN DER UNIVERSITÄT WÜRZBURG,
Z. Z. I. ASSISTENT AM PHYSIKALISCHEN INSTITUT DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN.

ZWEITER TEIL.

ZELLENSTAATEN. PFLANZEN. TIERE.

MIT 66 ABBILDUNGEN IM TEXT.

TÜBINGEN
FREIBURG I. B. UND LEIPZIG
VERLAG VON J. C. B. MOHR (PAUL SIEBECK)
1900.

Das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen behält sich die Verlagshandlung vor.

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Inhalt.

Seite

1. Kapitel. **Zellenstaaten** 1

Aufbau der Zellenstaaten 1

A. Differenzierungen 5

Differenzierung der Zellen 5

a) Stützzellen 7

b) Transportierende Zellen 8

c) Verdauende Zellen 10

d) Sezernierende Zellen 12

e) Kontraktile Zellen 13

f) Nervöse Zellen 14

g) Fermentzellen 16

h) Synbionten 17

Wachstum und Vermehrung der Zellen; Korrelation unter denselben 18

Weitere Differenzierungen 19

Gewebe und Organe 22

B. Fortpflanzung und Vererbung 22

Fortpflanzungszellen 22

Anpassungsvermögen der Zellenstaaten 25

Verstärkung des Anpassungsvermögens durch Kopulation 27

Differenzierung der Fortpflanzungszellen 30

Geschlechtliche Differenzierung der Zellenstaaten . . . 34

Ueberdauern gefahrbringender Perioden 36

Zeitpunkt der Abgabe von Fortpflanzungszellen . . . 38

Seite
Vererbung 40
Abänderung der Art 41
Vererbung erworbener Eigenschaften 43
Regeneration 45

2. Kapitel. **Pflanzen** 47
Grenze zwischen Pflanze und Tier 47

A. Differenzierungen 49
Differenzierung der Pflanzenzellen 49
Thallophyten und Cormophyten 49
Reservestoffe 51
Wasserbahnen, Saftbahnen 52
Saftsteigen 53
Korrelation 57
Andere Differenzierungen 58

B. Fortpflanzung und Vererbung 60
Fortpflanzung 60
Vererbung 62
Vererbung erworbener Eigenschaften 63
Regeneration 64

C. *Litteratur 67

3. Kapitel. **Tiere** 90
Bewegungsfähigkeit 90

A. Differenzierungen 91
Differenzierung der Zellen; Gewebe und Organe . . . 91
a) Stützorgane 93
b) Transportierende Organe 93
c) Verdauende Organe 94
d) Sezernierende Organe 95
e) Kontraktile Organe 95
f) Nervöse Organe; Sinnesorgane und Zentralorgane 97
g) Fermente und Synbionten 100
Korrelation 100

B. Kombination von Organfunktionen 102
Korrelation der Organe 102
Flugbewegungen 106

Seite
Der Verdauung dienende Bewegungsorgane 111
Automatische Herzbewegung 112
Verschiedene automatische Bewegungen 113
Automatische Flugbewegungen 116
Periodenänderung der Herzbewegung 118
Bluttemperatur 118
Regeneration 119
Ermüdung und Lähmung 119
Tod 120

C. *Litteratur 122

4. Kapitel. **Fortpflanzung und Vererbung** 148
Generationswechsel 148
Befruchtungsvorgänge 150
Vererbung 151
Vererbung der geschlechtlichen Differenzierung . . . 152
Reduktionsteilung 154
Einfluss auf das Geschlecht der Nachkommen 157
Bastarde 161
Ursache der Vererbung erworbener Eigenschaften . . 162
Vierter biologischer Fundamentalsatz 167
Vererbung geschlechtlicher Eigenschaften 168
Vererbung erworbener Eigenschaften geschlechtsloser Tiere; Ameisenstaaten 169
Vererbung erworbener Eigenschaften bei chitingepanzerten Arthropoden 174
*Litteratur 176

5. Kapitel. **Keimesentwicklung und Stammesentwicklung** . . . 191
Biogenetisches Grundgesetz und Cenogenese 191
Differenzierung der Fortpflanzungszellen 193
Eifurchung und Differenzierung der Furchungszellen . 196
Morula, Blastula, Gastrula 199
Nervöse Zentralleitung 199
Regeneration im Embryonalstadium 200
Zwillingsbildungen 201
Aeussere Einflüsse auf die Keimesentwicklung 202
Embryonales Wachstum der nervösen Zellen 204
Gehirn und Sympathicus 209

Seite
Korrelation der Sexualcharaktere 210
Entwicklung verschiedener Charaktere in Ameisenstaaten 210
Verschiedenheit der embryonalen Entwicklungen . . . 214
Rudimentäre Organe 215
Züchtungsversuche 216
*Litteratur 218

Abkürzungen im Text:

bt. = betreffend; bz. = beziehungsweise; usf. = und so fort; sg. = sogenannt; zb. = zum Beispiel; S. = Seite; vgl. = vergleiche; I. = Entstehung des Lebens, I. Teil.

---

1. Kapitel.

Zellenstaaten.

Aufbau der Zellenstaaten.

Wie sich Atome verbinden zu Atomgruppen, zu Molekeln, so verbinden sich Molekeln zu Molekelgruppen. Gewisse bestimmt geformte Molekeln lagern sich zu hohlen, röhrchenartigen Gebilden zusammen, für welche wir die Bezeichnung „Fistelle" eingeführt haben. Fistellen aber lagern sich den wirkenden physikalischen und chemischen Kräften zufolge in gleicher Orientierung aneinander an und setzen sich zu ebenen durchlässigen Membranen zusammen (Fistellenart A, Fig. 1), oder je nach ihrer eigenen Gestalt zu kugelförmigen (Fistellenart B), zu cylindrischen (C), zu ovalen durchlässigen Membranen (D). Aus den Fistellen baut sich quellbare Substanz auf. Auch die kon-

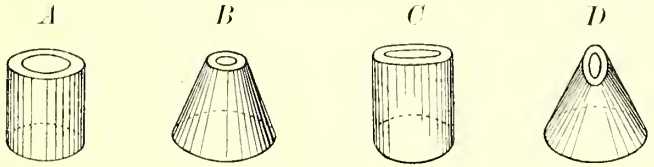


Fig. 1.

traktile Substanz geht aus den Fistellen hervor, weil durch chemische Veränderung von Flüssigkeitsmolekeln, welche eben in die Fistellenhohlräume hineinpassen, diese Molekeln und daher auch die Fistellen selber erweitert oder verengt, also deformiert werden; namentlich tritt dies energisch ein bei elliptischen oder bei länglich sechseckigen Querschnitten der Fistellen (I, S. 70). (Fig. 2.)

Aus solchen Fistellenmembranen, welche als hauptsächliche chemische Werkstätten für die organischen Gestaltungen aufzufassen sind, entstehen kompliziertere Gebilde: Bläschen, Körnchen, Röhrchen, Fibrillen, Ovoide, Gebilde mit Pseudopodien, Wimpern, Geisseln, ferner Gastrulen usf. Diese Gebilde sind trotz ihres unter Umständen sehr komplizierten Aufbaus absolut unsichtbar, solange nicht in ihren bt. kleinsten linearen Dimensionen wenigstens 5000 einfache Molekeln nebeneinander in einer

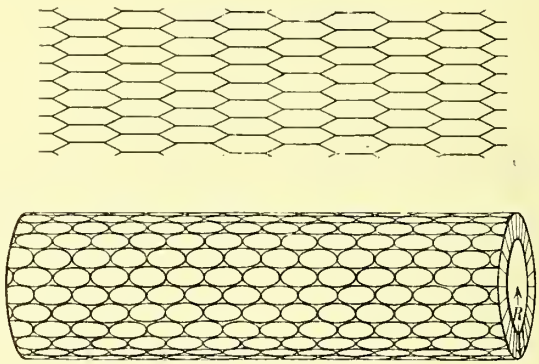


Fig. 2.

geraden Linie angelagert sind. Von Membranen also, welche ihrer Dicke nach, und von Fibrillen, welche ihrem Durchmesser nach weniger einfache Molekeln aneinandergereiht enthalten, als etwa 5000, oder weniger hochkomplizierte Molekeln oder Fistellen als etwa 500, können wir die Dicke bz. den Durchmesser mit unseren besten Mikroskopen nicht mehr sehen (I, S. 81).

Für die organische Gestaltung haben wir drei biologische Fundamentalsätze abgeleitet, aus dem Kampf ums Dasein[1]), der schon bei den einfachsten Molekelbildungen eine Selektionswirkung zur Folge hat:

1. die Substanz hat das Bestreben, sich zu vermehren;

[1]) Wenn wir hier von einem Kampf ums Dasein sprechen, fassen wir diesen Begriff so allgemein, dass jedes Individuum und jeder Teil, sogar schon jede Molekel desselben auch mit der Umgebung, also mit anderen Teilen bz. mit anderen Molekeln, nicht nur mit seinesgleichen ums Dasein kämpfen muss.

2. die Substanz hat das Bestreben, sich ihren Daseinsbedingungen anzupassen;
3. die Funktion der Substanz erhöht ihr Bestreben, sich zu vermehren.

Dem ersten Satz zufolge wächst jede organische Substanz, wenn die passende Nahrung (dieses Wort in seiner allgemeinsten Bedeutung aufgefasst) in ihrer unmittelbaren Umgebung vorhanden ist; sie assimiliert. Aendert sich die Nahrung mit der Zeit, so sucht sich nach dem zweiten Satz die Substanz den neuen Nahrungs- bz. den neuen Daseinsbedingungen anzupassen. Es ändert die Substanz nach Massgabe der Nahrungsänderung ihre Zusammensetzung und es können sogar ganz neue Substanzen entstehen, assimiliert durch bereits vorhandene Substanzen anderer Art, wenn nur beiderlei Substanzen in einem passenden Gegenseitigkeitsverhältnis der Resonanz zu einander stehen. Daher entstehen Gebilde, die sich den verwickelten Daseinsbedingungen entsprechend mehr und mehr differenzieren. Alle Substanzen eines und desselben Gebildes müssen in jenem Gegenseitigkeitsverhältnis der Resonanz zu einander stehen (I, S. 105).

Die einfachen Fistellenmembranen kräftigen sich, dem dritten Satz gemäss, wenn sie arbeiten, wenn sie Widerstände zu überwinden haben. Es legen sich verstärkende Röhrchenschichten b (Fig. 3) an die Fistellenmembran a an (I, S. 135). Solche widerstandsfähigere Membranen lassen nun eine stärkere Vergrösserung von organischen Gebilden zu stande kommen. Es entstehen Gebilde, welche in den Bereich der Sichtbarkeit gelangen: Zellen, Protisten, die wir teils nur mit den allerbesten Mikroskopen, teils aber schon mit unbewaffnetem Auge wahrzunehmen vermögen.

Zellen und Protisten sind reizbar. Ein chemischer Reiz kommt zu stande, wenn den Molekeln einer Zellsubstanz infolge von äusseren Wirkungen ein Atom angelagert oder ein Atom entrissen oder wenn in ihnen ein Atom umgelagert wird. Die Reize scheinen in der Regel chemischer Natur zu sein, so dass Zersetzungen oder Umsetzungen ihre Begleiterscheinungen sind. Alle Substanzen besitzen mehr oder weniger die Fähigkeit, Reize zu leiten (I, S. 154).

Aehnlich wie die kleineren Gebilde pflanzen sich die Zellen

fort — nach Massgabe unserer beiden ersten Fundamentalsätze — wenn sie über ihr normales Mass hinauswachsen. Sie bringen gleiche Gebilde hervor, wenn die Nahrungs-, die Daseinsbedingungen die bisherigen geblieben sind; sie passen sich den veränderten Bedingungen an und lassen daher die Art nach und nach sich ändern, wenn die Daseinsbedingungen sich ändern. Die Fortpflanzung kommt zu stande durch direkte oder durch indirekte, durch äquale Teilung, durch Knospung, durch Samenbildung vermittelst Encystierung. Nach unserem dritten Fundamentalsatz wird in Zellen hauptsächlich diejenige Substanz durch Assimilation vermehrt, welche in Anspruch genommen ist, welche funktioniert. Infolgedessen bilden sich je nach Bedarf Zellen, welche besonders der einen oder besonders der anderen Funktion angepasst sind, nämlich Stützzellen, transportierende, verdauende, sezernierende, kontraktile, nervöse Zellen, Fermentzellen. Bei bestimmt geregelter Nahrungszufuhr existiert für alle Substanzen jeder Zelle ein ge-

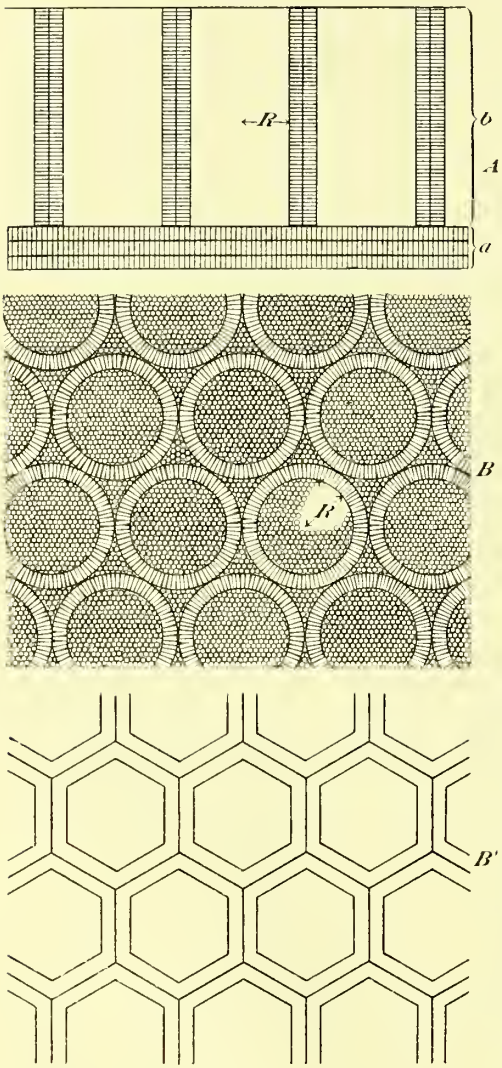


Fig. 3.

wisser Gleichgewichtszustand, welchem vermöge der Korrelation der Zellbestandteile untereinander die Zellsubstanzen zustreben (I, S. 105).

A. Differenzierungen.

Differenzierung der Zellen.

Bleiben die Zellen bei ihrer Fortpflanzung durch Teilung aneinander haften, so entstehen Zellenstaaten, Zellkolonien, Syncytien, Pflanzen oder Tiere. Die Aneinanderlagerung der Zellen kann linear, flächenhaft oder räumlich sein. Bei linearer Anordnung der Zellen zu Fäden, bei flächenhafter Nebeneinanderlagerung derselben zu membranartigen Zellenstaaten kann jede Zelle unmittelbar Nahrung aufnehmen, wenn der Zellenstaat in einer Nahrungsflüssigkeit sich befindet, wie dies bei solchen Individuen, die in Wasser oder in anderen nahrungshaltigen Flüssigkeiten frei schwimmen, der Fall ist. Es ist dann in der Regel ein Unterschied zwischen den einzelnen Zellen der Kolonie nicht nachweisbar. Eine Differenzierung der Zellen ist aber nötig, wenn verschiedene Zellen verschiedenen Einflüssen ausgesetzt sind, etwa ungleichen Drucken, Temperaturen, ungleicher Belichtung. Eine Differenzierung linearer oder flächenhafter Zellenstaaten muss auch erfolgen, wenn der Zellenstaat nicht durchweg in einem und demselben Medium, wenn er, ähnlich wie die meisten Pflanzen, teilweise in Erde oder in Wasser, teilweise in Luft sich befindet. Hier werden die in Luft befindlichen Zellen anders sich entwickeln, andere Eigenschaften annehmen, als die in Wasser befindlichen, und diese wieder andere als die in Erde befindlichen. Noch anders müssen die Zellen sich in ihrer Entwicklung verhalten, wenn die nämlichen Zellen je nach Umständen, je nach der Witterung, nach der Jahreszeit sich bald in Luft, bald in Wasser befinden, anders auch, wenn sie nicht immer gleiche Temperatur, sondern bald warm bald kalt haben, wenn sie nicht immer gleiche Belichtung, sondern bald hell bald dunkel haben. Analog machen sich andere Einflüsse geltend; die Zellen haben sich ihnen anzupassen, wenn sie konstant bleiben, sie haben sich ihnen ganz besonders anzupassen, wenn sie wechseln.

Dringender tritt die Notwendigkeit der Differenzierung an

die Zellen heran, wenn sie sich räumlich aneinanderlagern, zu Gebilden, welche weder Fäden von in einer Richtung aneinandergereihten Zellen, noch Membranen von nach zwei Richtungen hin nebeneinandergereihten Zellen sind, welche vielmehr nach allen Richtungen mindestens zwei oder mehr Zellen nebeneinander aufweisen. Wäre zwar die Aneinanderlagerung der Zellen derart eine flächenhafte, dass eine vollkommen ebene Platte entstünde, die in der Richtung der Plattendicke überall nur zwei Zellen nebeneinander aufwiese, so könnte allerdings ein solcher Zellenstaat, in einer Nahrungsflüssigkeit befindlich, noch mit unmerklicher Differenzierung seiner Zellen auskommen, weil alle Zellen in gleicher Weise Nahrung aufzunehmen im stande wären. Analog würde sich ein Zellenfaden verhalten, in welchem nach allen Durchmesserrichtungen höchstens zwei Zellen nebeneinandergelagert wären. Doch würden in der Regel noch andere Einflüsse, wie Schwere, Belichtung usf., auch in diesen Fällen sich geltend machen und zu Differenzierungen Veranlassung geben. Bei allen anders aufgebauten Zellenstaaten ist dies erst recht der Fall. Innen befindliche Zellen, die an keiner Stelle an Nahrungsflüssigkeit grenzen, zerfallen schliesslich, wenn sie keine Nahrung erhalten. Folglich müssen sich in einem räumlich zusammengelagerten Zellenstaat aussen fortwährend neue Zellen bilden, mindestens ebenso viele, als innen zerfallen, wenn der Zellenstaat existenzfähig sein soll, oder es müssen die Zellen sich differenzieren, so dass auch den innen befindlichen Zellen die nötige Nahrung zugeführt, dass auch in ihnen der Stoffwechsel ermöglicht wird.

Die Ausbildung der undifferenzierten Zellen eines in Entwicklung begriffenen Zellenstaates, die Differenzierung der Zellen für ganz bestimmte ihnen fernerhin obliegende Funktionen ist nicht dem blossen Zufall anheimgegeben, sondern sie wird geleitet durch die Forderung der Zweckmässigkeit. Jede Zelle muss sich zweckentsprechend ausbilden, so dass sie dem Zellenstaat möglichsten Nutzen bringt für seine Erhaltung, für seine Lebensfähigkeit. Denn schon bei den einfachsten Atomverbindungen zu Molekeln, bei den Fistellen, den Organoiden, den Organen, überall setzt der Kampf ums Dasein ein. Das Zweckmässige siegt im Kampf ums Dasein über das Unzweckmässige, welches zu Grunde geht. Ganz dasselbe ist der Fall

bei den Zellenstaaten. Ist in einem Zellenstaat nur eine einzige Zellenart unzweckmässig gebaut, so siegt im Kampf ums Dasein über diesen Zellenstaat ein anderer, welcher sonst ganz gleich gebaut ist, welcher aber diese Zellenart zweckmässiger ausgebildet hat als jener. Ihm gelingt die Nahrungszufuhr oder der Schutz vor Feinden, vor irgend einer Gefahr, oder es gelingt ihm irgend eine andere wichtige Lebensfunktion besser als jenem. Er wächst stärker oder länger, pflanzt sich besser fort. Seine Art breitet sich mehr aus und kann jene nur wenig verschiedene Art schliesslich völlig verdrängen, so dass dieselbe vom Kampfplatz verschwindet. So bleibt stets das Gute, das Zweckmässige allein übrig. Der ganze Organismus, der Zellenstaat passt sich den gegebenen Lebensbedingungen wegen des Kampfes ums Dasein aufs vollkommenste an.

a) Stützzellen.

Die Differenzierung der Zellen lässt sich im speziellen aus unserer Theorie einfach ableiten. Sind zwei aneinandergelagerte ursprünglich gleiche Zellen ungleich beansprucht, so wachsen sie ungleich, sie entwickeln sich ungleich. Wir haben früher (I, S. 166) erkannt, dass jede Zelle Stützsubstanz, dass sie transportierende, verdauende, sezernierende, kontraktile, nervöse Substanz enthält, dass sie vielleicht auch Fermente stets aufweisen kann. Wird nun eine Zelle nur zum Stützen in ihrem Zellenstaat verwendet, so arbeitet in dieser Zelle die Stützsubstanz weit mehr als alle anderen Zellsubstanzen. Durch die fortwährende Arbeit der Zellsubstanzen, welche das Stützen besorgen, welche von aussen kommende Stösse, Drucke oder Zugwirkungen[1]) aufnehmen müssen, werden die kleinsten Teilchen, die Molekeln bz. die Fistellen dieser Stützsubstanz in verhältnismässig stärkerer Thätigkeit erhalten, als alle übrigen Substanzteilchen der Zelle. Sie assimilieren demnach unserem dritten biologischen Fundamentalsatz zufolge am meisten. Die Stützsubstanz in der Zelle vermehrt sich, auf Kosten der anderen Zellsubstanzen, so sehr, dass sie fast allein übrig bleibt, dass von den anderen Zellsubstanzen nur noch so viel sich erhält,

[1]) Auch solche Zellen, welche nur Zugwirkungen übertragen, denken wir uns unter die Stützzellen eingereiht.

als zum Fortdauern der Zelle, zu ihrer Existenz, insbesondere auch zur Ernährung der Stützsubstanz unbedingt nötig ist. So wird diese Zelle zu einer Stützzelle.

Wenn die übrigen Substanzen derselben ganz eingehen, so hören die Lebensfunktionen dieser Stützzelle auf. Nahrungsaufnahme, Stoffwechsel usf. sind nicht mehr in merklicher Weise möglich, die Zelle stirbt ab. Wir erhalten die tote Stützzelle, welche dem Zellenstaat unter Umständen auch in dieser Form noch nützlich sein kann, wenn die Stützsubstanz beständig genug ist, so dass sie sich im leblosen Zustand nicht bald zu zersetzen beginnt. Die Stützzelle kann auf Druck, Zug, Biegung usf. beansprucht sein. Je nach der verschiedenen Beanspruchung werden sich die Zellen in verschiedener Weise zu Stützzellen ausbilden; vermöge der Selektionswirkung im Kampf ums Dasein kommt überdies die morphologische Differenzierung der Stützzellen zu stande.

b) Transportierende Zellen.

Liegt eine Zelle so zwischen einer Nahrung aufnehmenden und einer von der direkten Nahrungszufuhr abgeschnittenen Zelle, dass sie der letzteren notwendigerweise Nahrung zuführen muss, wenn diese am Leben bleiben soll, so muss in ihr die transportierende Substanz die Hauptarbeit übernehmen, damit dem Zellenstaat entsprechender Nutzen erwachse. Die transportierende Substanz assimiliert vermöge dieser Hauptthätigkeit der Zelle während des Zellwachstums stärker als die übrigen Zellsubstanzen, sie reisst im Kampf ums Dasein mit den übrigen Substanzen die meiste Nahrung an sich. Die anderen Zellsubstanzen können sich wenig ausbilden; sie verkümmern, bleiben nur so weit bestehen, als es zum Leben der Zelle unbedingt erforderlich ist. Fibrillen und Bänder aus solchen gehen nicht mehr quer durch die Zelle hindurch, von Zellwand zu Zellwand, oder von Zellwand zu Kernwand, sondern sie legen sich, wie auch der Kern selber, vermöge der Selektionswirkung im Kampf ums Dasein, möglichst an die Zellwand an, um der transportierenden Substanz ihre Arbeit zu erleichtern. So entstehen in dieser Zelle grosse Vakuolen, in denen die transportierende Substanz sich leicht bewegen kann.

Sind jene nahrungliefernde und jene nahrungsbedürftige Zelle, zwischen welchen die transportierende Zelle den Austausch vermittelt, weit entfernt voneinander, so zieht sich schon beim anfänglichen Wachstum des Zellenstaates die transportierende Zelle entsprechend auseinander, sie bildet eine Röhre, einen Kanal. Ist aber die Entfernung jener beiden Zellen eine so grosse, dass eine Zelle die ernährende Verbindung zwischen denselben gar nicht allein herstellen kann, so werden zwei in jener Richtung nebeneinander befindliche Zellen in transportierende umgewandelt. Sonst würde der bt. Zellenstaat seine Zellen nicht richtig ernähren können. Nun muss aber auch die diesen beiden Zellen gemeinsame Zellwandung dem Transport von Nahrungssubstanzen einen möglichst geringen Widerstand entgegensetzen. Es verschwinden also an denjenigen Stellen, an welchen der Transport der Nahrungsflüssigkeit durch diese Zellwandung hindurchgeht, die äusseren Fistellenschichten a der Zellmembranen (Fig. 3). Nur die Röhrchenschichten b bleiben übrig, und die Röhrchen dieser Schichten werden im Lauf der Zeit den gegebenen Bedingungen entsprechend und der Forderung der Zweckmässigkeit gehorchend so weit, dass nun der Transport der Nahrungssubstanzen, welche die Ernährung der entfernten Zelle besorgen, genügend leicht zu stande kommt. Wenn es zweckmässiger ist für das Dasein des Zellenstaates. werden die gemeinsamen Wandungen transportierender Zellen ganz durchbrochen und es setzen sich mehrere Zellen zu einer längeren Röhre, zu einem langen Kanal zusammen. In solcher Weise entstehen die Gefässe.

Verschwinden neben der transportierenden Substanz und der Zellhülle, der Gefässwandung, alle übrigen Zellsubstanzen dadurch, dass die transportierende Substanz alle Nahrung an sich gerissen hat, so werden die Wandungen der transportierenden Zelle leblos. Dessenungeachtet sind sie in vielen Fällen noch geeignet, der transportierenden Substanz den Durchtritt zu gestatten, solange sie nicht der Zersetzung anheimfallen.

In etwas anderer Weise sind als transportierende Substanzen auch Kohlehydrate, Fette, Oele zu bezeichnen, weil sie Nahrung aufspeichern, da wo diese zeitweise im Uebermasse vorhanden ist, aber wieder abgeben an Stellen, an welchen augenblicklich Nahrungsmangel herrscht. Zellen, deren Substanzen vorzugs-

weise diesen Bedingungen genügen müssen, wenn sie dem Zellenstaat, dem Gesamtindividuum nützlich sein sollen, wandeln sich dementsprechend um, so dass in ihnen nur die Aufspeicherungssubstanzen in hervorragendem Masse entstehen, wie zb. die Fettzellen. Alle übrigen Zellsubstanzen verkümmern mehr oder weniger, das heisst sie kommen nur so weit zu stande, als zur Existenzfähigkeit der Zelle nötig ist.

Gehen die übrigen Zellsubstanzen ganz verloren, so degeneriert die Zelle im allgemeinen. Nunmehr kann die aufgespeicherte Substanz nicht mehr durch die Aufspeicherungszelle selber in solche Nahrung zurückverwandelt werden, welche von den entsprechenden anderen Substanzen dieses Zellenstaates ohne weiteres aufgenommen wird.

c) Verdauende Zellen.

Andere Zellen, nämlich diejenigen, welche in unmittelbare Berührung mit der festen, flüssigen oder gasförmigen Nahrung des Zellenstaates kommen, verwandeln sich in verdauende Zellen. Dadurch, dass fast nur die verdauende Substanz dieser Zellen zur Arbeitsleistung herangezogen wird, vermehrt sich vorzugsweise diese Substanz in der Zelle, die übrigen Substanzen bleiben im Kampf der Substanzen untereinander bei ihrem Wachstum auf das Notwendigste beschränkt, auf so viel, als zum Leben der Zelle, vermöge der Korrelation der einzelnen Zellteile untereinander, unbedingt notwendig ist. Die verdauenden Zellen müssen stets bei ihrer Nahrungsaufnahme ein starkes Anpassungsvermögen besitzen, teils weil die dargebotene Nahrung variiert, teils weil die übrigen Zellen des Staates je nach den Funktionen, die der Zellenstaat augenblicklich zu verrichten hat, bald dieser bald jener Nahrung in stärkerem Masse bedürfen.

Zellen, welche gasförmige Nahrung aufnehmen, müssen besonders grosse Flächenentwicklung erkennen lassen; sie müssen dem Gase genügende Oberflächen darbieten, damit genügende Gasmengen umgesetzt werden. An den überaus feinen Fistellenmembranen a (Fig. 3) dieser Zellen, welche die äussersten Zelloberflächen sind, kommen die Umsetzungen der Gase mit den Zellflüssigkeiten hauptsächlich zu stande (I, S. 72). Nehmen die verdauenden Zellen flüssige Nahrung auf, so sind dafür

gleichfalls die aus Fistellen gebildeten Zellmembranen sehr geeignet. Je nach der Art der gebotenen Nahrungsflüssigkeit müssen aber die Fistellen vermöge ihrer Assimilationskraft eine Auswahl treffen können, damit so viel als möglich die zweckmässigste, die brauchbarste Nahrung in den Zellenstaat eingelassen wird. Um eine grosse Auswahlsfähigkeit und auch eine den Umständen angepasste verschiedene Aufnahmsfähigkeit von Nahrungsstoffen zu erzielen, werden vom Zellenstaat solche Zellen besonders zweckmässig in verdauende Zellen umgewandelt, welche aus vielen verschiedenen Fistellenarten zusammengesetzte Zellmembranen besitzen. Denn durch die verschiedenen Fistellenarten können verschiedene Nahrungssubstanzen aufgenommen werden. Sind im Zellenstaat zahlreiche verdauende Zellen vorhanden, so differenzieren sich auch diese Zellen wieder in solche, welche die einen, und in solche, welche die anderen Nahrungsstoffe aufnehmen und verarbeiten, also für die übrigen Zellen des Staates verdaulich machen.

Komplizierter sind in der Regel solche verdauende Zellen, welche geformte Nahrung, welche feste Körperchen aufnehmen. Denn sie müssen entweder einen Mund besitzen, wie dies bei manchen kleinsten Infusorien der Fall ist, oder sie müssen die feste Nahrung umfliessen, wie Amöben, wobei in der Zellmembran starke Aenderungen der Fistellen- und der Röhrchenschichten a und b (Fig. 3) nötig sind, oder sie müssen Sekrete abgeben, welche die Verdauung besorgen und eine Resorption ermöglichen.

Verdauende Zellen, deren Membranen vielfacher Umgestaltungen fähig sind, können sich unter Umständen ablösen von ihren Nachbarzellen, sie können wie Protisten ihre Nahrung aufsuchen, ihr entgegenwandern. Sie werden zu Wanderzellen, die dem Zellenstaat dadurch besonders nützlich sind, dass sie ihre Funktionen, wenn sie durch die transportierende flüssige Substanz aktiv oder passiv wandern, bald da bald dort verrichten können.

Die Funktionen der Wanderzellen bestehen nicht immer nur darin, Nahrungssubstanzen aller Art aufzunehmen und für die anderen Zellen des Staates verdaulich zu machen. Vielmehr können sie bekanntlich in vielen Fällen dadurch dem Ganzen besonders nützen, dass sie solche Substanzen, solche Körper in

sich aufnehmen und verarbeiten, verdauen, welche den übrigen für den Zellenstaat oder für Teile desselben die Verdauung besorgenden Zellen schädlich, welche ihre Existenz oder diejenige des Zellenstaates selber gefährdend wären. Sie können in diesem Falle auch dann von beträchtlichem Nutzen und ganz unersetzlich sein, wenn sie gar keine für andere Zellen verdauliche Stoffe, wenn sie nur indifferente Stoffe abgeben oder solche, welche für den Zellenstaat minder schädlich sind, als die von ihnen aufgenommenen Stoffe. Solche Wanderzellen dürfen wir als Synbionten des Zellenstaates bezeichnen, weil sie in gewisser Beziehung ein selbständiges Leben führen, weil sie im Zellenstaat scheinbar nach Belieben bald dahin bald dorthin sich wenden.

d) Sezernierende Zellen.

Jede Zelle besitzt sezernierende Substanzen, und diejenigen Zellen, welche da sich befinden, wo die Abscheidung von entsprechenden Substanzen dem Staat von grösstem Nutzen ist, und welche durch kleine Verschiedenheiten ihrer Substanzen für die Sekretion geeigneter sind, als ihre Nachbarzellen, werden nunmehr vom Zellenstaat besonders für die Sekretion benutzt. Dadurch vermehrt sich in solchen Zellen die sezernierende Substanz selber auf Kosten der übrigen Substanzen unverhältnismässig stark, vermöge ihrer Arbeit, ihrer Thätigkeit. Die Zelle wird zu einer spezifisch sezernierenden Zelle.

Je nach Bedarf und nach Zweckmässigkeit entstehen Zellen, welche die eine oder die andere Substanz sezernieren, Zellen, welche langsam ihre Sekrete abgeben, oder solche, welche sie rasch abgeben. Soll die Sekretion äusserst rasch erfolgen, so platzen einfach die Zellmembranen; der ganze flüssige Zellinhalt besteht im wesentlichen aus Sekret und dieses fliesst aus. Hernach kann die Zelle absterben und einer neu sich entwickelnden sezernierenden Zelle Platz machen; in anderen Fällen mögen sich die übrig gebliebenen Zellsubstanzen wieder zu einer gleichartigen Zelle regenerieren, je nachdem der eine oder der andere Vorgang für den gesamten Zellenstaat nützlicher ist.

e) Kontraktile Zellen.

Von den Zellen eines Zellenstaates muss es solche geben, welche beim Arbeiten ihrer kontraktilen Substanz dem Gesamten von besonderem Vorteil sind, sei es, dass sie durch dieses Arbeiten dem Staat die Nahrung zuführen, oder den Staat der Nahrung zuführen, sei es, dass sie den Zellenstaat einer Lebensgefahr entreissen. In einer solchen Zelle arbeitet vorzugsweise die kontraktile Substanz sehr energisch zum Nutzen des ganzen Staates. Folglich vermehrt sich in ihr die kontraktile Substanz verhältnismässig stärker als die übrigen Substanzen; die Zelle gestaltet sich um zu einer kontraktilen Zelle. Die kontraktile Zelle wird in der Regel nur dann der Gesamtheit nützlich bleiben, wenn sie am Leben erhalten wird, wenn — im Kampf der Zellsubstanzen untereinander — alle übrigen Substanzen der Zelle doch noch so reichlich in ihr vorhanden sind, dass die Korrelation aller Zellsubstanzen untereinander nicht bleibend gestört wird, dass somit allfällig beim Arbeiten zersetzte kontraktile Substanz wieder neu gebildet werden kann. Eine leblose Zelle, die zuvor die Funktionen einer kontraktilen Zelle verrichtete, wird daher im allgemeinen zu einer einfachen nur Druck oder Zug übertragenden Stützzelle herabgesunken sein.

Je nach der Zweckmässigkeit für den Zellenstaat erzeugt sich dieser kontraktile Zellen, welche sich langsam oder rasch kontrahieren, solche, welche langsam oder rasch wieder expandieren, kurze Zellen oder solche, welche sehr langgestreckt sind. Die letzteren kontraktilen Zellen dienen dazu, ganz entfernte Zellen des Staates einander vorübergehend näher zu bringen. Viele kontraktile Zellen legen sich zu flachen Bändern oder zu dickeren Fasern an- und nebeneinander. Müssen solche kontraktile Fasern, Muskelfasern, sehr lang sein, so setzen sie sich aus zahlreichen in Reihen geordneten kontraktilen Zellen zusammen, gerade so, wie es für den Gesamtorganismus das günstigste ist. Denn derjenige Zellenstaat, welcher sich nicht genügend günstige kontraktile Zellen durch Differenzierung zu erzeugen vermag, geht zu Grunde und pflanzt sich nicht weiter fort.

f) Nervöse Zellen.

Jede Zelle besitzt reizleitende, nervöse Substanzen; jede braucht dieselben notwendig, hauptsächlich auch bei ihrem Wachstum. In einem Zellenstaat, in dem, wie oben gezeigt wurde, die Zellen sich differenzieren, verschiedene Funktionen ganz oder doch fast ausschliesslich übernehmen, müssen diese ganzen Zellen zu einander in Korrelation stehen, ganz analog, wie die verschiedenartigen Substanzen jeder einzelnen Zelle zu einander in Korrelation stehen. Denn wenn beispielsweise bestimmte Zellen sich in sezernierende Zellen umgestaltet haben, so müssen sie in bestimmtem Zeitpunkt ihre Sekrete ausscheiden. Diese Ausscheidung ist nicht dem Zufall anheimgegeben; sonst könnte der Zweckmässigkeitsforderung nicht Genüge geleistet werden. Sind die Sekrete dazu da, um die Verdauung fester, geformter Nahrung zu unterstützen, so müssen diejenigen Zellen, welche die Nahrung anziehen und in den Zellenstaat aufnehmen, welche zuerst in Berührung mit ihr kommen, welche von ihr gereizt werden, oder diejenigen Zellen, welche nachher die Verdauung besorgen, je nachdem die Umstände es erfordern, den sezernierenden Zellen Meldung machen, dass sie nun ihre Arbeit gleichfalls zu beginnen haben. Es muss eine reizleitende, eine nervöse Verbindung dazu da sein. Dienen die Sekrete zum Schutz des Zellenstaates, so müssen diejenigen Zellen, welche die Gefahr zuerst in irgend einer Weise bemerken, seien es Stützzellen oder sonst irgend welche reizaufnehmende Zellen, einen Reiz ausüben auf die sezernierenden Zellen, damit diese ihre Sekrete ausscheiden. Ganz analog verhält es sich bei den übrigen Zellenkombinationen. Zwischen allen verschiedenartigen, ja sogar zwischen allen gleichartigen lebenden Zellen eines Zellenstaates müssen nervöse Verbindungen existieren, wenn ein günstiges Zusammenarbeiten möglich sein soll.

Bei unmittelbarer Berührung zweier Zellen ist die Herstellung einer solchen Korrelation in einfacher Weise denkbar, etwa durch nervöse Substanz, die von Zelle zu Zelle reicht. Sind da, wo beide Zellen sich berühren, die Fistellen der sich berührenden Membranteile weit genug, oder sind vollends die äussersten Fistellenschichten a (Fig. 3) ganz unterdrückt, so dass Röhrchenschicht b direkt an Röhrchenschicht grenzt, so

können leicht Protoplasmafäden bz. nervöse Fibrillen durch die einzelnen Röhrchen hindurchtreten und sie werden demnach von Zelle zu Zelle sich erstrecken. Wenn aber Zellen, welche in Korrelation zu einander stehen, welche miteinander arbeiten müssen, um dem Staat zu dienen, grössere Abstände voneinander annehmen, so müssen aus den sie verbindenden Zellen nervöse Zellen hervorgehen. In solchen Zellen arbeitet die nervöse Substanz so viel mehr als alle anderen Zellsubstanzen, dass nur sie sich wesentlich vergrössert, vermehrt, auf Kosten der übrigen Zellsubstanzen, dass sie zuletzt den ganzen Zellraum fast ausschliesslich in Anspruch nimmt. Alle übrigen Zellsubstanzen entwickeln sich nur so stark, als zum normalen Leben, zur weiteren Existenz der Zelle nötig ist. Die Zelle gestaltet sich um zu einer nervösen, zu einer reizleitenden Zelle. Ihren Zweck mag sie in manchen Fällen am besten erfüllen, wenn sie einfach in die beiden zu verbindenden Zellen hineinreicht, wenn ihre feinen Fibrillen, falls solche vorhanden sind, hindurchdringen durch die bt. Zellmembranen, wenn also solche Fibrillen etwa durch die Röhrchen der Röhrchenschichten b (siehe oben) hindurchtreten, da wo die äussersten Fistellenschichten a als unbrauchbar oder als unzweckmässig unterdrückt worden sind.

Wächst der Zellenstaat und rücken die beiden durch die reizleitende Zelle verbundenen Zellen weiter und weiter auseinander, so wird die reizleitende Zelle selber länger und länger. Jedoch wird ihr Längenwachstum beschränkt sein, dadurch nämlich, dass schliesslich beim Funktionieren dieser Zelle, das mit teilweisem Zerfall von reizleitender Substanz verbunden ist, der Ersatz für die abgenutzten Substanzen, welcher in der Regel nicht durch die gesamte Zelloberfläche eintreten wird, nicht mehr so schnell herbeigeschafft werden kann, wie es dem Zellenstaat zweckdienlich ist. In diesem Fall muss noch eine Nachbarzelle in eine reizleitende Zelle umgewandelt werden, damit kürzere reizleitende Zellen für den Zellenstaat genügen. Die beiden reizleitenden Zellen setzen sich nämlich nunmehr so aneinander, dass sie gemeinsam die Reizleitung aufs zweckmässigste besorgen; an der Berührungsstelle dieser beiden Zellen kann infolgedessen die ihnen gemeinsame Zellmembran so weite Röhrchen bekommen, dass in letzteren die beiden reizleitenden Substanzen unmittelbar in dickeren Fibrillen zusammenhängen. Die

Zellmembran kann dort sogar ganz unterdrückt werden, ähnlich wie es bei solchen transportierenden Zellen geschieht, von welchen sich mehrere zu einem längeren Kanal vereinigt haben. Sollen die reizleitenden Zellen ihren Zweck aufs beste erfüllen, so werden ihre einhüllenden Zellmembranen möglichst in Nichtleiter für die entsprechenden Reize sich umwandeln, wie schon bei der Behandlung der reizleitenden Fibrillen in den Einzelzellen gezeigt worden ist (I, S. 174).

Die einfache Zelle enthält viele reizleitende Fibrillen, wie wir anschaulich bei der Untersuchung der indirekten Kernteilung gesehen haben, bei der mindestens so viele reizleitende Fibrillen sich erkennen lassen, als Kernsegmente zu einer Zelle gehören. Diese verschiedenen Fibrillen finden sich im allgemeinen auch in der reizleitenden Zelle wieder und sie reichen meistens nicht nur in zwei, sondern beiderseits in viele nebeneinander befindliche Zellen anderer Art hinein, so dass eine einzelne reizleitende Zelle viele Zellen auf einer Seite mit vielen Zellen auf der anderen Seite leitend verbinden, in nervöse Korrelation zu einander bringen kann. Denn während der Entwicklung des Zellenstaates, bei der Umwandlung einer noch nicht differenzierten Zelle in eine reizleitende ist diese Zelle schon mit vielen anderen Zellen benachbart, sie berührt viele, in der Regel mindestens vier derselben. Mit allen diesen hängt sie durch die gemeinsamen Fistellenmembranen hindurch zusammen. Folglich wird sie auch bei dem Auseinanderweichen aller Nachbarzellen im allgemeinen die Reizleitung zwischen ihnen allen besorgen können, ganz besonders, wenn die Art der Reizleitung für diese sämtlichen Zellen dieselbe ist. Bei später erfolgender Zellteilung kann aber eine einzelne nervöse Zelle zu noch viel mehr anderen Zellen Beziehungen erhalten.

g) Fermentzellen.

Die Zellen enthalten in ihrem Inneren Fermente. Gewisse Zellen des Zellenstaates werden zu keiner anderen Leistung so stark herangezogen, als zur Entwicklung ihrer Fermente. Dadurch, dass diese Fermente stark bethätigt werden, vermehren sich dieselben auf Kosten der übrigen Zellsubstanzen. Die ganze Zelle wird zu einer Fermentzelle. Die anderen Zellsubstanzen

entwickeln sich nur so weit, als zur Erhaltung, zum Fortleben der Fermentzelle durchaus nötig ist. Alle weitere der Zelle zugeführte Nahrung wird zur Bildung von Fermentsubstanz verwendet. Diese Substanz oder die ganze Fermentzelle übernimmt nun die Aufgabe, als Ferment für den gesamten Zellenstaat zu dienen. Zu diesem Zweck wird die Zellmembran stark durchlässig, die äusserste Fistellenschicht a (Fig. 3) wird unter Umständen ganz verschwinden, so dass die umzuwandelnden und die umgewandelten Substanzen leicht durch die Zellmembran hindurchzutreten im stande sind.

Unter passenden Verhältnissen wird die Fermentzelle von ihren Nachbarzellen sich ablösen und mit der transportierenden Substanz passiv, vielleicht auch aktiv wandernd da oder dorthin gelangen, so dass sie ihre Eigenschaften an möglichst vielen Stellen des Staates zur Geltung zu bringen vermag. Oder es wird, ähnlich wie es bei manchen sezernierenden Zellen geschieht, die Zellmembran ganz zerstört, sobald genügend Fermentsubstanz gebildet ist, und diese Substanz wird dann frei, sie ist nicht mehr an die Zelle gebunden. Sie wird vermittelst der transportierenden Substanz da und dorthin gespült, und kann allerorts Verwendung finden.

h) Synbionten.

Ganz verschiedenen Funktionen können sich Synbionten angepasst haben, die im Inneren eines Zellenstaates ihr mehr oder weniger selbständiges Leben führen. Sie können als transportierende Zellen (als Reservezellen) an Stellen oder zu Zeiten des Nahrungsüberschusses Stoffe in sich aufnehmen, die ihnen an anderen Stellen oder zu anderen Zeiten des Nahrungsmangels von anderen Zellen des Staates wieder abgenommen werden. Als verdauende Zellen vermögen sie gewisse nützliche Stoffe anderen Zellen des Staates verdaulich zu machen, oder schädliche Stoffe in sich aufzunehmen und dadurch für den Gesamtstaat unschädlich zu machen. Die bei ihrem Stoffwechsel abgeschiedenen Stoffe sind unter Umständen befähigt, als Sekrete dem Zellenstaat Dienste zu leisten. Auch mit besonders wirksamen Fermenten ausgestattete Zellen mögen da oder dort ihre eigene selbständige Bewegungsfähigkeit haben und sind dann

als Synbionten zu bezeichnen. Wir haben solche Synbiontenarten gelegentlich bei den bt. Zellenarten schon erwähnt.

Wachstum und Vermehrung der Zellen; Korrelation unter denselben.

Befindet sich der Zellenstaat unter günstigen Nahrungsbedingungen, so wächst er weiter und weiter, seine Zellen wachsen bis zu einer bestimmten normalen Grösse. Sie werden so gross, dass sie ihre Funktionen eben noch gut erfüllen können, dass für jeden Substanzzerfall in ihnen, infolge der ihnen obliegenden Arbeit, der Ersatz noch schnell genug ohne grössere Hindernisse herbeigeschafft, durch Assimilation neugebildet werden kann. Zellen, welche sehr stark arbeiten müssen, immerhin innert gewisser Grenzen, vermehren sich durch Zellteilung, wie wir es früher beschrieben haben (I, S. 181). Durch Teilung entstehen gleichartige Zellen. Aus einer kontraktilen Zelle entstehen also zwei solche, und das Analoge geschieht bei der Teilung aller anderen Zellenarten.

Die nervösen Fibrillen, die vermutlich in alle Zellen hineinreichen, splittern sich auf, wenn die übrigen zu verbindenden Zellen sich teilen, ohne dass dabei immer eine Teilung der zugehörigen reizleitenden Zelle nötig wäre. Denn wie wir oben schon erwähnt haben, kann eine einzige reizleitende Zelle viele andere Zellen in Verbindung miteinander bringen, in Korrelation zu einander setzen. Jede einzelne Zelle eines Zellenstaates muss in dieser oder in jener Weise mit mindestens einer anderen Zelle desselben in Verbindung stehen, soll sie wirklich für den Zellenstaat Bedeutung haben und soll die zweckmässige und notwendige Korrelation aller Teile untereinander gewahrt bleiben. Zur Verbindung weit entfernter lebender Zellen dienen eben die reizleitenden Zellen. Bei toten Zellen sind freilich solche nervöse Verbindungen nicht mehr denkbar; indessen werden sich in diesem Falle unmittelbar benachbarte Zellen noch berühren, und für Stützzellen genügt schon diese Berührung, um dem Zellenstaat von grossem Nutzen zu sein.

Weitere Differenzierungen.

Wenn sich die Zellen teilen, so differenzieren sie sich dabei; denn niemals werden im Zellenstaat zwei unmittelbar benachbarte Zellen vollkommen genau die gleichen Obliegenheiten haben. Die eine von beiden kann die Nahrung besser erhalten als die andere; sie muss infolgedessen der letzteren einen Teil der aufgenommenen Nahrung wieder abgeben. Oder die eine Zelle wird von der reizleitenden Zelle leichter zu den ihnen beiden obliegenden Funktionen angeregt als die andere, und sie muss demnach die Reizleitung zu dieser anderen Zelle hin wenigstens teilweise noch mitbesorgen. Oder es tritt irgend eine andere mögliche Differenzierung ein. Wir müssen annehmen, dass in einem hochkomplizierten Zellenstaat, wie die höheren Säugetiere solche sind, jede von den etwa tausend Millionen Zellen, die zusammen erst diesen Zellenstaat ausmachen, etwas anders beschaffen sei als die andere, wenn auch die Unterschiede noch so fein sind, wenn auch dieselben uns gar niemals zum Bewusstsein kommen, niemals zu unserer Erkenntnis gelangen. Ein Unterschied zwischen ihnen muss, mathematisch genommen, immer vorhanden sein. Denn jede von diesen Zellen entsteht zu anderer Zeit, unter anderen Lebensbedingungen, unter anderen Temperatur-, Druck-, Nahrungsverhältnissen usf. Niemals werden daher, ausser durch einen äusserst unwahrscheinlichen Zufall, zwei Zellen genau gleich ausfallen, nicht einmal in dem allerkompliziertesten, aus Milliarden von Zellen bestehenden Zellenstaate.

Es differenzieren sich die Stützzellen des Zellenstaates in mannigfacher Art, je nachdem die eine nur Zug, die andere nur Druck oder nur Biegung oder Torsion, oder etwa irgend eine Kombination von verschiedenartigen Kräften zu übertragen oder auszuhalten hat. Die transportierenden Zellen und die transportierenden Substanzen differenzieren sich so lange, bis sie alle für den Zellenstaat notwendigen Stoffe enthalten und an die richtigen Stellen hinbefördern, bis sie überhaupt alle Funktionen übernommen haben, die sie für den Zellenstaat mit Vorteil verrichten können.

Die verdauenden Zellen differenzieren sich, so dass alle möglichen für den Staat etwa dienlichen Nahrungsstoffe auf-

genommen werden. Ist die Beschaffenheit der zugeführten Nahrungsarten immer dieselbe, so verdaut die eine Zelle die eine Art der Nahrung, richtet sich für sie ganz speziell ein und nimmt selber eine solche Beschaffenheit an, dass sie gerade diese Nahrung besser aufnimmt als alle anderen Zellen. Eine andere verdauende Zelle übernimmt die Aufnahme einer anderen Nahrungsart. In grösseren Zellenstaaten können, wenn sie die Nahrung in grossen kompakten Massen aufnehmen, verdauende Wanderzellen entstehen, welche in das Innere der Nahrungsmasse eindringen, welche dort verdauen und die für den Organismus zubereiteten Säfte abgeben. Die letzteren werden dann von fest gelagerten Wandzellen der nahrungleitenden Kanäle leicht aufgenommen und weiter befördert. Ist die zugeführte Nahrung ihrer Art nach zu verschiedenen Zeiten sehr ungleichmässig, so müssen sich die verdauenden Zellen möglichst darauf einrichten, dass sie jede Nahrung aufzunehmen und zu verarbeiten im stande sind. In jedem Zellenstaat wird ein Teil der verdauenden Zellen dieser Veränderlichkeit der aufzunehmenden Nahrung sich anpassen, damit der Staat nicht sogleich zu Grunde geht, wenn einmal durch Zufall nicht die gewohnte Nahrung aufgenommen werden kann.

Auch mancherlei sezernierende Zellen wird ein grösserer Zellenstaat besitzen. Für viele ganz verschiedene Nahrungsstoffe müssen passende Sekrete abgesondert werden, die zur Verdauung, wenigstens zur Einleitung derselben, unentbehrlich sind. Es werden Sekrete abgesondert zum Schutz des ganzen Staates gegen äussere Feinde, Sekrete zum Schutz der einzelnen Organe des Staates, damit dieselben bei ihrer Arbeit nicht irgend einer Zerstörung anheimfallen.

Die kontraktilen Zellen differenzieren sich; denn in einem grösseren Zellenstaat haben sie gar viele Aufgaben zu erfüllen. Ihnen liegt die Bewegung des ganzen Zellenstaates ob, oder vielmehr alle möglichen Bewegungen desselben, welche ihm etwa von Nutzen sein können. Dazu bedarf es bald langer bald kurzer kontraktiler Zellen; bald müssen langsam, bald umgekehrt sehr schnell sich kontrahierende bz. expandierende Zellen zur Verfügung stehen. Solche Zellen müssen entweder den ganzen Zellenstaat als solchen in Bewegung setzen, oder nur einzelne Organe oder sogar nur Organteile desselben. In Orts-

und Lageverhältnissen sind so zahlreiche Aenderungen beim grösseren Zellenstaat möglich, dass die kontraktilen Zellen vielfältige verschiedene Eigenschaften bei ihrer Differenzierung annehmen müssen.

Nicht minder differenzieren sich die nervösen Zellen. Sie haben gar verschiedenartige andere Zellen in Korrelation miteinander zu setzen, gar verschiedene Orte im Zellenstaat miteinander zu verbinden. An jede Stelle des Zellenstaates, wo sich eine lebende mit gleichartigen Nachbarzellen verbundene Zelle befindet, reichen zum mindesten noch einzelne Fibrillen von nervösen, von reizleitenden Zellen hin. Es werden die nervösen Zellen, die den einen oder den anderen Reiz fortleiten, auch ihren reizleitenden Substanzen nach verschieden beschaffen sein. Jede nervöse Zelle hat ihre bestimmte spezifische Reizart, die sie vorzugsweise oder sogar allein fortleitet, und benachbarte nervöse Zellen werden hierin schon wieder Abweichungen voneinander zeigen.

Bei höher organisierten Zellenstaaten entstehen auch verschiedene reizaufnehmende Zellen durch Differenzierung von Oberflächenzellen des Staates. Denn die eine Oberflächenzelle nimmt leichter die Druckänderungen auf, erkennt sie besser als andere benachbarte Zellen, und sie bildet sich aus zu einer Tastzelle; eine andere Zelle wird aus einem analogen Grunde zur Wärmegefühlszelle; andere Zellen differenzieren sich zu akustischen, zu optischen, zu Geruchs- oder zu Geschmackszellen usf. Alle diese Oberflächenreize werden von den Zellen, die sie aufgenommen haben, durch reizleitende Zellen auf andere Zellen des Staates übertragen, in einer Weise, wie es für den Zellenstaat das vorteilhafteste ist. Es wird dem durch Reizleitung übermittelten Reize entsprechend je nach den gegebenen Verhältnissen die Stützsubstanz oder die transportierende, die verdauende, die sezernierende, die kontraktile Substanz, es wird die nervöse Substanz selber dadurch angeregt, muss stärker arbeiten, lebhafter funktionieren, wird stärker assimilieren.

Analog differenzieren sich endlich in einem grösseren Staat auch die Fermentzellen, wenn es für die gegebenen Bedingungen, für die Lebensbedingungen des Zellenstaates zweckdienlich ist. Es entstehen alle verschiedenartigen Fermente, welche dem Staat

von Nutzen sind. Ferner differenzieren sich die Einzellebewesen im Zellenstaat, die Synbionten, wenn sie dadurch dem Ganzen förderlicher werden.

Gewebe und Organe.

Bei dem Wachstum des Zellenstaates, bei der fortwährenden Teilung seiner Zellen entsteht, wie wir oben schon hervorgehoben haben und wie es auch unserem ersten Fundamentalsatz entspricht, in erster Linie Gleiches aus Gleichem. Aus Stützzellen gehen neue Stützzellen, aus transportierenden wieder transportierende Zellen hervor. Ebenso teilen sich verdauende, sezernierende, kontraktile, nervöse Zellen usf. in jeweilen gleichartige Zellen, die freilich, wie wir gleichfalls gezeigt haben, nicht genau einander gleich, vielmehr wiederum differenziert sind, sich etwas verschiedenen Bedingungen angepasst haben. Stets aber entstehen in einem grösseren Zellenstaat zahlreiche Zellen gleicher Art aus den ursprünglichen wenigen Zellen dieser Art, die bei der ersten Entwicklung des Zellenstaates aufgetreten sind. Solche gleichartige Zellen stehen teilweise oder ganz in Verbindung miteinander. Sie bilden zusammen mehr oder weniger ein Ganzes, das wir je nach den Verhältnissen seiner Wirksamkeit als Gewebe oder als Organ bezeichnen. Bei fortgesetzten Zellteilungen baut sich nach und nach aus Zellen, aus Geweben und Organen der ganze Zellenstaat auf, eine hochkomplizierte Pflanze, ein hochkompliziertes Tier, und vielgestaltig, vielfach fast in jeder Beziehung verschieden erscheinen auch die kleinsten Teile eines solchen Organismus, ganz besonders, wenn wir sie mit Hilfe des Mikroskops untersuchen.

B. Fortpflanzung und Vererbung.

Fortpflanzungszellen.

Löst sich vom fertig ausgewachsenen Zellenstaat eine einzelne Zelle vollständig los, so kann sie absterben, zu Grunde gehen, wenn sie ihre Existenzmittel verloren hat. Ist sie aber fähig, selbständig Nahrung zu suchen oder zufällig vorhandene Nahrung aufzunehmen, zu verarbeiten und in eigene Zellsubstanz umzuwandeln, kann sie diese und alle anderen notwendigen

Lebensfunktionen so reichlich erfüllen, als es für ihre bleibende Erhaltung, für ihr weiteres Wachstum und für die Zellteilung notwendig ist, so wird die Zelle zur Entstehung eines neuen Zellenstaates Veranlassung geben können, sie wird zu einer Fortpflanzungszelle. In der Fortpflanzungszelle ist nicht, wie in den übrigen Zellen des Zellenstaates, durch Differenzierung eine einzige Zellsubstanz so ausschliesslich ausgebildet, dass alle anderen Zellsubstanzen neben dieser ganz oder doch nahezu verkümmern. Vielmehr werden zum mindesten alle wichtigsten Zellsubstanzen in gewissem zweckmässigen Verhältnis zu einander in dieser Zelle vorhanden sein. Wenn eine Zellsubstanz dabei eine besonders hervorragende Rolle spielt, so muss dies die nervöse Substanz sein, welche alle anderen Substanzen durch ihre Reizleitung miteinander verbindet, welche die Korrelation unter allen Zellsubstanzen aufrecht erhält.

Hat eine Fortpflanzungszelle die Fähigkeit, einen neuen Zellenstaat zu begründen, ohne dass sie sich von dem sie erzeugenden Zellenstaat vollkommen ablöst, so entsteht eine Summe von zusammenhängenden Zellenstaaten, eine Kolonie von Individuen. Kommt dagegen die Ablösung vollständig zu stande, so entsteht der neue Zellenstaat, das neue Einzelindividuum. Wenn der Zellenstaat einfach ist, nur aus wenigen Zellen besteht, so sind diese noch wenig differenziert. Es ist dann in der Regel noch jede von ihnen im stande, wenn sie sich vom ganzen Zellenstaat aus irgend einem Grunde abgelöst hat oder wenn sie durch einen äusseren Einfluss abgelöst worden ist, einen neuen gleichartigen Zellenstaat zu erzeugen. Je weiter aber die Differenzierung im Staat fortschreitet, um so weniger ist im allgemeinen irgend eine beliebige Zelle desselben befähigt, aus sich heraus den ganzen Staat gewissermassen durch Regeneration und Zellteilung wieder neu entstehen zu lassen. Mit zunehmender Differenzierung des Zellenstaates müssen somit gewisse Zellen sich um alle spezielleren Funktionen des Zellenstaates scheinbar gar nicht mehr kümmern, das heisst sie dürfen sich nicht in Stützzellen, nicht in transportierende, nicht in verdauende Zellen differenzieren usf.; sie dürfen sich überhaupt nicht weiter umgestalten als so weit, dass sie später durch Vermehrung, durch Teilung, wenn die richtige Nahrung herbeigeschafft, wenn die richtigen Lebensbedingungen gegeben werden,

alle jene anderen spezifizierten Zellen aus sich wieder entstehen zu lassen vermögen. Nur solche Zellen tragen, wenn sie abgestossen werden vom Zellenstaat, durch Neubildung eines solchen zur Erhaltung der Art bei. Nur Zellenstaaten, die solche Fortpflanzungszellen erzeugen, vermehren sich als Individuen, pflanzen sich fort. Nur so weit können sich Zellenstaaten immer mehr differenzieren, als sie im stande sind, zugleich Fortpflanzungszellen hervorzubringen von so kompliziertem Bau, dass diese wiederum den gleichen komplizierten Zellenstaat entstehen lassen. Zellenstaatarten, welche dies nicht mehr im stande sind, sterben aus.

Es ist klar, dass die Fortpflanzungszellen um so komplizierter in ihrem innersten Aufbau der Molekeln, der Fistellen, der Organoide sein müssen, je komplizierter der Zellenstaat selber ist, den sie erzeugen. Zwar muss durchaus nicht der ganze Zellenstaat gewissermassen schon im kleinen und ihm selber ähnlich in der Fortpflanzungszelle vorgebildet sein, wie es die Jünger der Präformationstheorie geglaubt haben; allein eine gewisse recht verwickelte Präformation muss doch schon in der Fortpflanzungszelle vorhanden sein, soll der hochkomplizierte Zellenstaat aus ihr entstehen können. Den kompliziertesten Aufbau in derselben hat vermutlich die nervöse Substanz, weil sie die Lebensfunktionen der ganzen Zelle, diejenigen ihrer Organoide, ihrer einzelnen Substanzen leitet und regiert.

Eier, Samen sind abgelöste Fortpflanzungszellen. Sie haben die Fähigkeit, sich selber weiter zu erhalten, zu wachsen, sich zu teilen, den neuen Zellenstaat zu bilden, wenn nur die genügende Nahrung dazu da ist, und wenn sonst die Lebensbedingungen die richtigen sind. Offenbar wird die Entwicklungsfähigkeit dieser Samen und Eier vermehrt, wenn ihnen vom Mutterzellenstaat, vom Mutterorganismus etwas Nahrung mit auf den Lebensweg gegeben wird. Vom Mutterorganismus abgelöste Fortpflanzungszellen, welchen dieser Vorteil im Kampf ums Dasein mit anderen sonst gleich beschaffenen Zellen zu statten kommt, entwickeln sich besonders leicht zu neuen Zellenstaaten, zu neuen Individuen, und die Art, die solche Fortpflanzungszellen erzeugt hat, pflanzt sich selber leichter fort, als andere sonst gleiche Arten; sie siegt im Kampf über die anderen Arten, breitet sich auf Kosten derselben aus. So ent-

wickelten sich im Lauf der Zeit, immer Schritt haltend mit den äusseren Lebensbedingungen, Samen und Eier, die mit einem gewissen Nahrungsvorrat vom Mutterzellenstaat sich ablösen.

Uebermässig gross darf dieser Nahrungsvorrat, den die Eier und Samen erhalten, nicht sein. Denn sonst wird dem neu entstehenden Individuum seine Arbeit anfänglich zu sehr erleichtert. Seine Zellen, seine Organe entwickeln sich dann nicht mehr nach dem Bedürfnis, nach den Geboten der Zweckmässigkeit, so wie es dem späteren Leben des Individuums entsprechen würde. Alle Zellen, alle Substanzen desselben erhalten anfänglich ihre Nahrung überreichlich. Ihr Zusammenarbeiten ist nicht mehr nötig, weil sie ja ihre Nahrung auch ohne dieses erlangen. So muss der neu entstehende Zellenstaat sich weniger vollkommen entwickeln, als wenn von Anfang an ein Kampf um die Nahrung schon unter seinen einzelnen Teilen, schon unter seinen Zellen, seinen Organen stattfindet. Die Differenzierung seiner einzelnen Teile schreitet weniger weit vorwärts, und wenn endlich die mitgegebene Nahrung doch ausgeht, ist dieser Zellenstaat den äusseren Lebensbedingungen weniger gut angepasst, als derjenige, welcher so früh als möglich mit knapper Nahrung auskommen und sich weiter differenzieren, welcher der späterhin weniger reichlichen Nahrungszufuhr sich anbequemen musste.

Anpassungsvermögen der Zellenstaaten.

Jeder Zellenstaat kann sich geänderten äusseren Lebensbedingungen in gewisser Weise anpassen. Wenn zb. die zufliessende Nahrung geändert wird, ändern sich seine verdauenden Zellen. Sie passen sich der neuen Nahrung an, liefern den übrigen Zellen entsprechend geänderte Nahrung und der ganze Zellenstaat wird sich ändern, wird diesen neuen Lebensbedingungen sich in bestimmter Weise anpassen. Jedoch haben solche Veränderungen eines Organismus eine gewisse Grenze. Die Nahrung kann nicht in beliebiger Weise variieren, die verdauenden Zellen können nicht plötzlich jede beliebige andere Nahrung aufnehmen und verdauen, die übrigen Zellen können nicht mit jeder neuen von den verdauenden Zellen gelieferten Nahrung sich weiter entwickeln oder auch nur erhalten bleiben.

Ueber ein bestimmtes Mass geht das Anpassungsvermögen nicht hinaus.

Wenn nun ein Zellenstaat einem neuen gleichartigen Zellenstaat das Leben giebt, so wird dieser letztere dem ersteren möglichst gleich werden, weil alle Substanzen durch Assimilation möglichst Gleiches erzeugen. Das Tochterindividuum entwickelt sich in der Nähe des Mutterindividuums, nimmt die gleiche Nahrung auf, wächst in gleicher Weise heran, und schliesslich ist das ausgewachsene Tochterindividuum fast ganz gleich wie das Mutterindividuum. Beide Individuen können sich den Lebensbedingungen gleich gut anpassen. In beiden variieren die verdauenden Zellen und auch alle übrigen Zellen annähernd in denselben Grenzen. Beide sind unter den gleichen geänderten Lebensbedingungen noch existenzfähig. Beide suchen von der ihnen erreichbaren Nahrung dieselben Bestandteile mit Vorliebe heraus, diejenigen Bestandteile nämlich, welche für ihren Organismus die zweckmässigsten sind. Demnach beginnt die Konkurrenz unter ihnen, wenn die Nahrung nicht überreichlich ist. Die bt. Art kann sich also ungehindert vermehren, solange Nahrung in genügender Weise vorhanden ist. Beginnt aber die Nahrung knapp zu werden, so wird der Kampf unter den einzelnen Individuen dieser Art ein überaus heftiger, weil sie alle genau die gleiche Nahrung mit Vorliebe auswählen. Die Individuen müssen sich möglichst voneinander entfernen, sie müssen sich ausbreiten, sonst gehen die schwächeren unter ihnen aus Nahrungsmangel bald zu Grunde.

Tochterindividuen, welche von demselben Mutterindividuum abstammen, welche sich aber weit voneinander entfernten, unter anderen Lebensbedingungen sich weiter entwickelten, haben sich etwas verschieden voneinander gestaltet. Erhalten sie selber wieder Nachkommen an verschiedenen Orten unter verschiedenen äusseren Bedingungen, so werden diese Nachkommen gleichfalls verschieden sein; denn sie sind ja den sie erzeugenden Individuen gleich. Wenn indessen solche an verschiedenen Orten etwas verschieden entwickelte Individuen einer späteren Generation wieder zusammengebracht, unter die Lebensbedingungen des ursprünglichen Mutterindividuums versetzt werden, so ist vermöge ihrer Abstammung ihre Anpassungsfähigkeit an diese Verhältnisse möglich und es werden solche Individuen der

späteren Generation unter diesen geänderten Verhältnissen einander wieder ziemlich gleich werden. Der Bereich der Anpassungsfähigkeit der Art wird durch vorübergehende Ortsveränderungen, auch wenn sie mit teilweisen Aenderungen in der zugeführten Nahrung verbunden sind, verhältnismässig wenig verändert.

Verstärkung des Anpassungsvermögens durch Kopulation.

Es können aber in anderer Weise eingreifende Veränderungen eintreten. Eine Fortpflanzungszelle, die sich vom Mutterindividuum abgelöst hat, besitzt etwas auf den Lebensweg mitgegebene Nahrung, verzehrt diese und der neu entstehende Organismus muss, wenn solches geschehen ist, neue Nahrung suchen, um sich weiter entwickeln zu können. Wenn nun in dem Stadium des ersten Verbrauchs jener mitgegebenen Nahrung zwei gleichartige Fortpflanzungszellen zufällig zur Berührung kommen, so findet jede von ihnen noch Nahrung in der anderen. Jede von ihnen wird nicht nur die eigene mitgegebene, sondern auch noch die Nahrung der anderen Fortpflanzungszelle an sich zu ziehen, aufzunehmen suchen. Die beiden Fortpflanzungszellen kämpfen miteinander, die stärkere von ihnen siegt, verzehrt auch die Nahrung der anderen Zelle. Nur eine von ihnen entwickelt sich, giebt einem neuen Zellenstaat, einem neuen Individuum das Leben; die andere verschwindet, geht in der ersteren auf.

Wenn die beiden Fortpflanzungszellen, welche in dieser Weise miteinander um ihr Dasein kämpfen, unmittelbar von dem gleichen Mutterzellenstaat, von den gleichen Zellen desselben abstammen, so entsteht aus ihrer Vereinigung ein ganz gleichartiger Zellenstaat, wie der mütterliche. Der aus der siegreichen Fortpflanzungszelle hervorgegangene Zellenstaat hat das gleiche Anpassungsvermögen, wie wenn jene nicht noch eine zweite Fortpflanzungszelle in sich aufgenommen hätte, oder er besitzt sogar ein geschwächtes Anpassungsvermögen. Denn er war bei seiner ersten Entwicklung nicht zu so weitgehender Differenzierung seiner Substanzen gezwungen, wie ohne die Aufnahme einer solchen gleichartigen Fortpflanzungszelle, die für ihn vom Mutterindividuum bereits zweckmässig zubereitete

Nahrung war. Sie hat nämlich nun mütterliche Nahrung aufnehmen können, die normalerweise für zwei Fortpflanzungszellen zur Entwicklung des Individuums ausgereicht hätte. Anders verhält es sich indessen, wenn die von der einen verschlungene andere Fortpflanzungszelle von einem ganz anderen Zellenstaat abstammt. Der letztere kann für jene erstere Fortpflanzungszelle in seinen Bestandteilen nur dann als Nahrung betrachtet werden, wenn seine Zellen und Zellbestandtheile durch ihre verdauenden Substanzen, mit Hilfe der sezernierenden Substanzen, der Fermente usf., zersetzt und aufgelöst, in einfachere Molekeln gespalten werden. Wenn aber die von der ersten kräftigeren aufgenommene zweite Fortpflanzungszelle von gleicher Art ist wie jene, so muss eine solche Zersetzung ihrer Zellsubstanzen nur so weit reichen, bis die Einschaltung der zersetzten Fistellen, der abgelösten Molekeln in die eigene Leibessubstanz möglich ist. Zwar werden für beide Fortpflanzungszellen kleine Unterschiede in der Zusammensetzung ihrer Molekeln aus Atomen vorhanden sein, wie sie nach unseren früheren Entwicklungen jeder komplizierteren Zelle überhaupt nie fehlen; dennoch sind aber die Molekeln der beiden vereinigten gleichartigen Zellen miteinander verträglich, es sind ihre Fistellen ohne weiteres miteinander verträglich. Sie stehen alle in dem Gegenseitigkeitsverhältnis günstigster Resonanz zu einander (S. 3). Die verdauenden Fistellen der schwächeren werden daher von der stärkeren Fortpflanzungszelle auch nicht in kleinere Atomgruppen zerlegt, sondern sie werden einfach in die übrigen eigenen verdauenden Fistellen eingereiht, eingeordnet, genau so wie wenn neue Fistellen durch Assimilation erzeugt worden wären.

Dadurch, dass neue verdauende Fistellen aufgenommen worden sind, von einem anderen Individuum abstammend, welches, obwohl der gleichen Art angehörend, doch nicht vollkommen dem Mutterindividuum der siegreichen Fortpflanzungszelle gleich sein konnte, kommt nun eine grössere Anpassungsfähigkeit des neu entstehenden Zellenstaates, insbesondere an die dargebotene Nahrung zu stande. Denn die nunmehr in der siegreichen Fortpflanzungszelle vorhandenen verdauenden Fistellen und somit auch die bei den fortgesetzten Zellteilungen auftretenden verdauenden Zellen haben sowohl die bezüglichen Eigenschaften

des einen als diejenigen des anderen mütterlichen Individuums in sich aufgenommen, weil sie ihre Molekeln, ihre Fistellen aufgenommen haben. Sie können die Nahrung verarbeiten, die jenen beiden Individuen bekömmlich war, und damit besitzen sie in der That die grössere Anpassungsfähigkeit in Beziehung auf die gebotene Nahrung. Liefern sie die verdaulich gemachten Substanzen beiderlei Mutterindividuen entsprechend den übrigen Zellsubstanzen, nach den Zellteilungen den übrigen Zellenarten, so assimilieren diese letzteren auch teils dem einen, teils dem anderen Mutterindividuum entsprechend. Dazu kommt noch, wie wir soeben erwähnt haben, dass die Molekeln der aufgenommenen Fortpflanzungszelle für die Fistellen der aufnehmenden Fortpflanzungszelle ohne weiteres verdaulich sind, wegen ihres Gegenseitigkeitsverhältnisses der Resonanz (S. 3). Demnach werden in der Regel alle Molekeln der aufgenommenen Fortpflanzungszelle, ohne bleibende Zersetzung in kleinste Atomgruppen, von den verdauenden Substanzen der aufnehmenden Fortpflanzungszelle aufgenommen, durch die verdauenden Fistellen hindurchspediert, und sie lagern sich im Inneren der letzteren Zelle an analoge Molekeln an, wie die durch Assimilation neu erzeugten Molekeln. So kommt die innigste Mischung der Molekeln, der Fistellen beider etwas ungleicher Fortpflanzungszellen einer und derselben Art zu stande, für alle vorhandenen Substanzen, und es erbt damit der aus diesen beiden Zellen hervorgehende Zellenstaat die Eigenschaften des einen wie diejenigen des anderen von den beiden mütterlichen Individuen.

Wenn die beiden Fortpflanzungszellen, die sich vereinigen, genau gleich sind, weil sie unmittelbar von einem und demselben Mutterindividuum abstammen, so müssen auch die vom neu aus ihnen entstehenden Zellenstaat ererbten Eigenschaften nur denen des bt. Mutterindividuums gleich sein. Wenn aber jene beiden Zellen nur mittelbar, nur durch sehr viele Generationen hindurch vom gleichen Mutterindividuum abstammen, so sind im Lauf der Zeiten durch Wachsen unter verschiedenen Lebensbedingungen die von ihnen ererbten Eigenschaften doch ungleiche geworden. Der neu entstehende Zellenstaat erhält dann ungleiche Eigenschaften von beiden etwas ungleichen Mutterindividuen oder von beiden „Eltern“, wie wir von jetzt an sagen wollen. Es ist nunmehr aus der „parthenogenetischen“ Fort-

pflanzung, zu welcher nur ein Zellenstaat, nur ein Mutterindividuum nötig ist, eine „geschlechtliche“ Fortpflanzung geworden, bei welcher zwei etwas verschiedene Individuen mitwirken. Es findet eine Kopulation statt.

Die Anpassungsfähigkeit eines durch geschlechtliche Fortpflanzung, durch Kopulation entstandenen Zellenstaates ist eine verbesserte geworden, weil Molekeln, Fistellen, Zellen dem einen wie dem anderen elterlichen Individuum entsprechend in ihm vorkommen. Wegen dieser Verschiedenheit des inneren Aufbaus ist die Variationsfähigkeit einer regelmässig in solcher Weise sich fortpflanzenden Art eine grössere, und diese entspricht eben der grösseren Anpassungsfähigkeit. Es pflanzt sich diese Art im allgemeinen leichter fort, als eine andere sonst gleiche Art, deren Fortpflanzungszellen sich nicht durch Kopulation miteinander verbinden; die geschlechtliche Fortpflanzung wird zur Regel. Zuletzt bleibt nur derjenige Teil der ganzen Art am Leben, im Kampf ums Dasein, welcher vermöge der erlangten geschlechtlichen Fortpflanzungsart die bessere Anpassungsfähigkeit an alle Lebensbedingungen erhalten hat.

Differenzierung der Fortpflanzungszellen.

Sobald einmal die Fortpflanzungsart durch Kopulation zur Regel geworden ist, differenzieren sich die Fortpflanzungszellen selber. Dieselbe wird zur Regel dadurch, dass der Zufall ausgeschaltet wird. Die beiden Fortpflanzungszellen, die sich vereinigen in der Weise, dass die eine, die stärkere, die andere schwächere in sich aufnimmt und sodann zu einem einheitlichen Ganzen sich gestaltet, kommen im Lauf der Weiterdifferenzierung nicht mehr nur durch Zufall zusammen, sondern sie suchen sich auf. Sie suchen beide Nahrung, finden solche jede in der anderen, und wie andere lebende Zellen wittern sie ihre Nahrung. Die eine wittert die andere Fortpflanzungszelle durch Reizwirkungen, die jeweilen von der gewitterten Zelle ausgehen. Erst wenn solche Wirkungen in die Ferne entstanden sind, welche den Zellen gestatten, sich gegenseitig zu reizen und solche Reize aufzunehmen, sich gegenseitig zu wittern, kann die geschlechtliche Fortpflanzung sich entwickeln.

Eine derartige Witterung ist in ganz verschiedener Weise

möglich. Die Fortpflanzungszellen können Substanzen für die Witterung ausbilden, welche besonders auf mechanische, auf akustische, thermische, optische, elektrische, oder auf chemische Reize reagieren. Weil, wie wir früher (vgl. S. 3) erläutert haben, der Hauptsache nach wohl alle diese Reize in den nervösen Substanzen durch chemische Aenderungen zur Fortleitung gebracht werden, wenigstens wenn es sich um kräftigere Reizwirkungen handelt, so werden wir kaum fehlgehen, wenn wir vermuten, dass chemische Wirkungen ganz besonders für die Ausbildung der Witterung herangezogen worden seien, und diese Wirkungen wollen wir als Beispiel etwas näher betrachten.

Die Fortpflanzungszellen geben Witterung ab, sie nehmen Witterung auf. Die abgegebene Witterung möge in einer ganz bestimmten spezifischen chemischen Substanz bestehen, welche von der Zelle aus sich verteilt, welche gleichsam ausgestossen wird, in einzelnen Molekeln, die sich in der Umgebung der Zelle durch Diffusion, durch Konvektionsströme nach und nach ausbreiten. Die Fähigkeit, Witterung aufzunehmen, besteht darin, diese Art von Molekeln durch chemisch reizbare Substanzen zu erkennen. Bedingung für die Entstehung der geschlechtlichen Fortpflanzung ist sodann, dass gerade diese Witterung eine angenehme, eine der entsprechenden Fortpflanzungszelle nützliche sei, das heisst dass die letztere besser sich entwickle, leichter am Leben bleibe und einem neuen Zellenstaat zum Leben verhelfe, wenn sie der bt. Witterung folgt, die eben schliesslich zur Annäherung, zur Vereinigung von zwei Fortpflanzungszellen führt.

Die Witterung, welche eine Fortpflanzungszelle abgiebt, kann von ihr selber nicht als Reiz empfunden werden; denn sie befindet sich immer in derselben. Ihre übrigen Substanzen stehen mit der Witterungssubstanz im vollkommensten Gegenseitigkeitsverhältnis der Resonanz, das zu inneren Reizerscheinungen keine Veranlassung giebt. Würde nämlich im Inneren einer Zelle die eine Substanz ohne weiteres, ohne äussere Einflüsse eine andere Substanz reizen, also nach unseren früheren Entwicklungen sie zersetzen (S. 3), so würde die gereizte Substanz überhaupt bald ganz verschwinden; eine andere Zusammensetzung von Zellsubstanzen entstünde, welche lebensfähig wäre. Mit dieser Lebensfähigkeit verbunden ist eben die Bedingung,

dass die Substanzen einer Zelle sich gegenseitig unter normalen Verhältnissen nicht reizen, dass ein gewisser Gleichgewichtszustand unter ihnen eingetreten ist (S. 5). Daher reizen sich auch Fortpflanzungszellen, die von einem und demselben mütterlichen Organismus abstammen, gar nicht oder doch nur wenig, um so weniger, je mehr sie gleichzeitig und unter genau gleichen Bedingungen entstanden sind.

Je mehr dagegen die Fortpflanzungszellen in ihren Eigenschaften voneinander abweichen, um so grösser wird der Reiz, den sie aufeinander ausüben, bis zu einer gewissen Grenze. Es ist nämlich eine Ungleichheit zweier Fortpflanzungszellen denkbar, so gross, dass die von der einen ausgehende Witterung von der anderen eben nicht mehr bemerkt wird. Die witternde Substanz der einen Fortpflanzungszelle nimmt dann die von der anderen abgegebenen zu witternden Molekeln nicht mehr auf, weil sie nicht mehr von ihnen gereizt wird. Zwischen den genannten Grenzen der Reizwirkungslosigkeit liegt ein Optimum der Reizbarkeit durch solche Witterung, und wenn die Fortpflanzungszellen gerade so viel voneinander verschieden sind, dass ihre Witterung bz. ihre entsprechende Reizbarkeit diesem Optimum entspricht, so werden die Zellen sich mit Vorliebe zu einander hinbewegen. Es geht daraus hervor, dass die zu „nahe verwandten" Fortpflanzungszellen zu gemeinschaftlicher Fortpflanzung nichts beitragen, dass aber weit entfernte Verwandte einer Art sich mit Vorliebe vereinigen, zur Fortpflanzung gelangen und lebensfähige neue Zellenstaaten entstehen lassen, dass ein Liebesreiz gerade die entfernteren Verwandten einer Art zusammenführt.

Die Vereinigung zweier verschiedener Fortpflanzungszellen zum Akte der gemeinsamen Entwicklung ist dann keine zufällige mehr, wenn durch ganz bestimmte Ursachen die beiden Zellen aktiv oder passiv zusammengebracht werden, vermöge der Anpassung derselben an die Daseinsbedingungen ihrer Art. Auch hier wirkt die Forderung grösster Zweckmässigkeit in entsprechender Weise mit. Für die passive Uebertragung geben uns zahlreiche pflanzliche Fortpflanzungszellen ein Beispiel, die durch Insekten in regelmässigster Weise zusammengebracht werden. Wir behandeln etwas genauer die aktive Uebertragung. Die Fortpflanzungszellen besitzen, wie andere Zellen, Mittel,

vermöge ihrer kontraktilen Substanzen Bewegungen auszuführen. Diese Bewegungen werden nun der Zweckmässigkeitsforderung angepasst, so dass die geschlechtliche Vereinigung zweier Fortpflanzungszellen zu stande kommt. Haben die Fortpflanzungszellen die Fähigkeit, Witterung abzugeben, solche aufzunehmen und überdies die Fähigkeit, infolge der aufgenommenen Witterung Bewegungen auszuführen, so siegen im Kampf ums Dasein wiederum diejenigen Individuen der Art, bei welchen die Bewegungsorganoide ihrer Fortpflanzungszellen diese zu einander hinführen. Die Individuen, deren Fortpflanzungszellen vermöge der Witterungsreize voneinander sich entfernen, unterliegen selbstverständlich bei der geschlechtlichen Fortpflanzung und gehen zu Grunde. Es differenzieren sich demnach die kontraktilen Substanzen der Fortpflanzungszellen. Eigene passende Bewegungsorganoide entstehen, so beschaffen, dass sie die Fortpflanzungszellen zusammenbringen.

Die Fortpflanzungszellen müssen untereinander verschieden sein in ihren genannten Eigenschaften. Die einen derselben geben besonders stark Witterung ab; andere nehmen besonders leicht Witterung auf und bewegen sich demzufolge leichter gegen witterungabgebende Fortpflanzungszellen hin. Für die Abgabe von Witterung ist ein grosses Volumen günstig, für die Beweglichkeit von Fortpflanzungszellen, welche mit der Aufnahme der Witterung verbunden ist, hat dagegen ein geringeres Volumen den Vorzug. Von allen namentlich Witterung abgebenden Fortpflanzungszellen gelangen also diejenigen am meisten zur Fortpflanzung, welche ein grosses Volumen besitzen, welche demzufolge viel Witterung abgeben und dadurch in einem grossen Umkreise bemerkbar sind; von allen namentlich Witterung aufnehmenden Fortpflanzungszellen gelangen diejenigen am meisten zur Fortpflanzung, welche ein kleines Volumen und damit verbunden eine leichtere Beweglichkeit, aber verhältnismässig energische Bewegungsorganoide besitzen. Die Individuen, welche derartig günstig ausgestattete Fortpflanzungszellen erzeugen, siegen im Kampf ums Dasein über die anderen ungünstiger veranlagten Individuen der Art und ihre Nachkommen bleiben zuletzt allein übrig. In dieser Weise differenzieren sich die Fortpflanzungszellen mehr und mehr, sie werden zu geschlechtlich völlig verschiedenen Fortpflanzungszellen.

Geschlechtliche Differenzierung der Zellenstaaten.

Ein Zellenstaat wird im allgemeinen die eine und die andere Art von Fortpflanzungszellen erzeugen können, sagen wir männliche und weibliche. Jedoch muss der Fall eintreten, dass ein Individuum die eine Fortpflanzungszellenart besser erzeugt als die andere, zb. etwa die männliche besser als die weibliche; auch mag es die männliche Fortpflanzungszellenart besser erzeugen als alle anderen Individuen der gleichen Art. Ein anderes Individuum mag umgekehrt die weiblichen Fortpflanzungszellen besonders günstig hervorbringen.

Die diesen beiden Individuen gemeinschaftlichen Nachkommen gedeihen dann besser als diejenigen der übrigen Individuen der Art, welche solche Fortpflanzungszellen weniger gut hervorgebracht haben; denn sie stammen von besseren Fortpflanzungszellen ab. Sie pflanzen sich also auch leichter fort als andere Individuen der gleichen Art. Weil nun die Eigenschaften der Eltern auf die Nachkommen sich vererben, so erhalten diese Nachkommen gleichfalls teilweise die Fähigkeit, beiderlei Fortpflanzungszellen in ungleicher Güte zu entwickeln, also entweder vorzugsweise Fortpflanzungszellen zu erzeugen, welche besonders starke Witterung abgeben, oder vorzugsweise solche, welche besonders leicht Witterung aufnehmen und leicht beweglich sind. oder es entstehen Fortpflanzungszellen, welche bezüglich dieser Eigenschaften wieder mit mittleren Werten ausgestattet sind. Ist aber für die bt. Art eine solche Differenzierung der Individuen günstig, dass die einen namentlich die witterungabgebenden, die anderen namentlich die witterungaufnehmenden Fortpflanzungszellen hervorbringen, so kommt diese Differenzierung im Kampf ums Dasein wirklich zu stande. Wir bezeichnen dann die ersteren Individuen der Art als die weiblichen, die letzteren Individuen als die männlichen. In diesem für die Erhaltung und Fortpflanzung der Art besonders günstigen Falle wird auch die Trennung von männlich und weiblich schon in den Fortpflanzungszellen selber sich ausbilden und es ist einleuchtend, dass bei der Vereinigung beider Zellen, bei der Kopulation das Geschlecht derjenigen Fortpflanzungszelle den Ausschlag geben wird, welche stärker assimiliert. welche die andere Zelle gleichsam als Nahrung in sich aufnimmt, wenigstens in Bezug auf die geschlechtlichen Substanzen.

Wenn sich in dieser Weise die ganzen Zellenstaaten differenzieren, in männliche und in weibliche Individuen, so sind sie den von ihnen erzeugten Fortpflanzungszellen entsprechend günstigere Eigenschaften zu verleihen im stande. Das weibliche Individuum, das die witterungabgebende Fortpflanzungszelle erzeugt, giebt dieser nicht nur Substanzen mit auf den Weg, welche kräftige Witterung nach aussen abströmen lassen, sondern es giebt ihr auch reichliche oder doch genügende Nahrung mit, zum Unterhalt des Fortpflanzungszellenpaares bei seiner Entwicklung bis zu der späteren Lebensfähigkeit. Andererseits erhöht das männliche Individuum, das die witterungaufsuchende Fortpflanzungszelle erzeugt, nicht nur ihre Aufnahmsfähigkeit für die Witterung und die Bewegungsfähigkeit dieser Zelle, sondern es giebt ihr auch wenig oder fast gar keine Nahrung mit auf den Lebensweg. Denn sie findet ja ihre Nahrung in der anderen Fortpflanzungszelle. Sie erreicht eine solche andere Zelle um so leichter, je weniger Masse ihr anhaftet. Alles unnötige Nährmaterial wird ihr entzogen, damit sie sich um so leichter bewegen kann oder bewegen muss. Diejenigen männlichen und weiblichen Individuen, welche am vorteilhaftesten für die Erhaltung der Art im stande sind, den von ihnen erzeugten Fortpflanzungszellen die günstigsten spezifischen Eigenschaften zu verleihen, tragen zur Erhaltung der Art mehr bei als alle anderen. Immer mehr entstehen solche spezifisch männliche, spezifisch weibliche Individuen. Wenn jedes von diesen Individuen stets nur eine Fortpflanzungszellenart gut ausstattet, so sterben allmählich alle diejenigen geschlechtlichen Individuen aus, welche überhaupt noch beide Fortpflanzungszellenarten hervorzubringen vermögen, weil sie unnötigen Arbeitsaufwand machen für Fortpflanzungszellen, die der Art gar keinen Nutzen gewähren. Sie unterliegen daher im Kampf ums Dasein gegen andere Individuen, die nur eine einzige Fortpflanzungszellenart hervorbringen. Es entstehen schliesslich infolge dieser Differenzierung männliche Individuen, welche nur die eine Fortpflanzungszellenart, die Spermatozoen, und weibliche Individuen, welche nur die andere Fortpflanzungszellenart, die Eier erzeugen.

Das Ei erhält den reichlichen Nahrungsvorrat und giebt reichliche Witterung ab, das Spermatozoon wittert das Ei, be-

wegt sich gegen dasselbe hin, schlüpft auf irgend eine Weise in das Ei hinein. Nun vereinigen sich die beiden Fortpflanzungszellen, es findet Kopulation statt. Die eine von ihnen, die kräftiger wirksam ist, giebt dabei im allgemeinen den Ausschlag; sie nimmt die schwächere in sich auf, durch Auflösung ihrer Substanzen in Molekeln, in Fistellen und durch Einreihung dieser in ihre eigenen Molekeln und Fistellen der analogen Substanz. Die eine von beiden Zellen giebt auch den Ausschlag im Geschlecht, so dass das aus dem Fortpflanzungszellenpaar entstehende Individuum das Geschlecht der in dieser Beziehung kräftigeren Fortpflanzungszelle erhält.

Ueberdauern gefahrbringender Perioden.

In ganz verschiedener Weise können die Lebensbedingungen variieren, unter denen ein Individuum sich entwickelt. Dasselbe muss sich wechselnder Temperatur, wechselnder Feuchtigkeit, wechselnder Belichtung usf. anpassen können, wenn es lebensfähig sein soll. Ueberaus wirksam können solche Wechsel werden, wenn das Individuum je nach Umständen bald im Wasser, bald an der Luft, oder wenn es bald in grosser Wärme, bald in grosser Kälte existenzfähig sein soll. Solche Wechsel sind aber auf unserer Erde in der Regel nicht plötzlich entstanden, vielmehr haben sich dieselben allmählich herausgebildet. Nach Massgabe der Entstehung wechselnder Verhältnisse auf der Erdoberfläche erhielten die Individuen Eigenschaften, welche ihnen über die gefahrbringenden Zeiträume hinweghalfen. Wir haben früher schon hervorgehoben, dass es Tiere giebt, die eine grosse Trockenheit, also Entzug fast aller Feuchtigkeit aushalten, ohne zu sterben, welche eintrocknen, dabei die Gestalt kleiner Sandkörnchen annehmen (Bärentierchen, Fig. 4). Es giebt andererseits Pflanzen, welche in öden trockenen Gegenden, sogar in Wüsten noch gedeihen, welche die einmal aufgenommene Feuchtigkeit durch lange Zeiträume hindurch aufbewahren (Selaginella lepidophylla). Sehr viele Tiere und Pflanzen überdauern eine längere Kälteperiode, den Winter, ohne jede Gefahr für ihr Dasein, dadurch dass in dieser Zeit ihre Lebensfunktionen fast ganz unterbleiben.

In höchstem Grade sind aber die Fortpflanzungszellen vieler

Zellenstaaten befähigt, solche der Existenz ihrer Art gefahrbringende Perioden zu überdauern. Dauersporen, Samen von Pflanzen, Eier von Tieren überdauern Trockenheitsperioden oder Kälteperioden usf. mehr oder weniger lange Zeit. Zu diesem Zwecke sind sie mit Hüllen, mit Schalen umkleidet, welche die in ihrem Inneren befindlichen Flüssigkeiten nicht austreten, das in ihnen festgehaltene Wasser nicht verdunsten lassen, welche

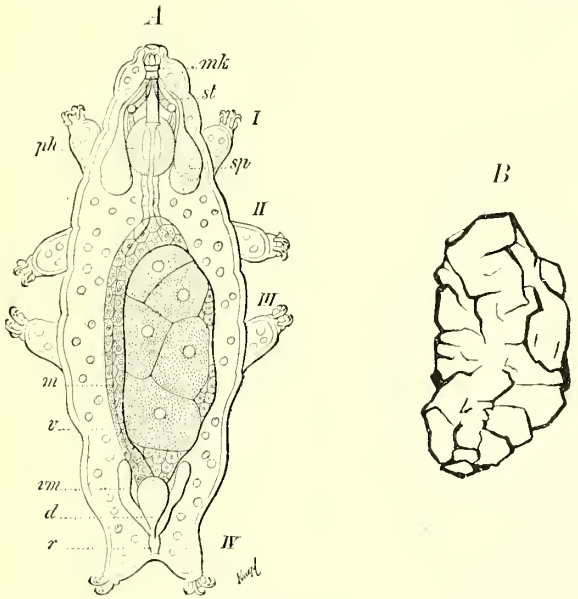


Fig. 4.
Macrobiotus Hufelandi, Bärentierchen. A Im lebendigen Zustande kriechend. Nach R. Hertwig. B Im scheintoten Zustande eingetrocknet.

aber dem von aussen herzutretenden Wasser den Eintritt gestatten. Durch diesen Wassereintritt wird dann, bei passenden übrigen Wachstumsbedingungen, die Assimilation eingeleitet. Es entwickelt sich neue Substanz im Inneren, die Schale wird dadurch oder schon vorher durch Quellung zersprengt, Wasser und Nahrungsflüssigkeiten können hierauf ganz ungehindert herbeifliessen und aufgenommen werden. Daher wird sich der Zellenstaat nunmehr entwickeln. Solche Schutzhüllen entstanden nicht plötzlich. Schritt für Schritt mit dem zunehmenden Wechsel in den Lebensbedingungen blieben im Kampf ums Dasein die-

jenigen Individuen übrig, deren Samen, allgemein gesprochen, Schutzhüllen besassen, welche den für die Art gefährlichen Perioden Widerstand zu bieten vermochten, über die anderen Individuen, die diesen Vorteil entbehrten. Immer kräftiger, immer widerstandsfähiger wurden solche Schutzhüllen, je länger und gefahrbringender die zu überdauernden Zeiträume wurden, bis in der letzten gegenwärtigen Periode des Erdenlebens Dauersporen und Samen entstanden sind, deren Keimfähigkeit zum Teil fast gar keine Grenze mehr hat.

Zeitpunkt der Abgabe von Fortpflanzungszellen.

Noch in anderer Weise haben sich Individuen ausgebildet, die den für ihre Art gefährlichen Perioden zu begegnen im stande waren. Es sind nämlich diejenigen Individuen für die Erhaltung ihrer Art im Vorteil, die ihre Fortpflanzungszellen bezüglich der gefahrbringenden Periode in dem günstigsten Zeitpunkt abscheiden. Dauersporen und Samen, welche dazu befähigt sind, selber eine grössere Periode der Ruhe durchzumachen, werden am zweckmässigsten kurz vor Eintritt der gefahrbringenden Periode abgestossen und freigelassen, weil sie entgegen ihrer Bestimmung ihr Wachstum beginnen würden, wenn sie in augenblicklich günstigeren Zeiträumen frei würden. Andere Samen, welche selber solche Perioden nicht zu überdauern vermögen, müssen umgekehrt in einem für das Wachstum sehr günstigen Zeitpunkt abgegeben werden, so dass sie sich sofort entwickeln und wachsen. Sie müssen neuen Individuen so frühzeitig das Leben geben, dass dieselben noch vor Eintritt der gefahrbringenden Periode genügend erstarken, um diese Periode aus eigener Kraft zu überdauern. So entstehen Individuen, die ihre Fortpflanzung in ganz bestimmten Zeiträumen besorgen, weil alle anderen Individuen der gleichen Art, die jene nützliche Eigenschaft nicht besitzen, im Kampf ums Dasein unterliegen gegen die in dieser Beziehung günstiger veranlagten Individuen. Nur diejenigen Pflanzen und Tiere, die in bestimmtem, passendem Zeitraume ihre Samen, ihre Fortpflanzungszellen zur Reife bringen und abgeben, erhalten ihre Art, pflanzen sich wirklich fort, alle anderen gehen zu Grunde.

Der Reifung und Abgabe von Fortpflanzungszellen muss ihre Entstehung, muss bei geschlechtlichen Individuen teilweise auch die Befruchtung vorhergehen. Die aktive Vereinigung der geschlechtlich ungleichen Fortpflanzungszellen wird, wie wir oben gesehen haben (S. 36), durch Reize, durch Witterungsreize angeregt, eingeleitet. Die Abgabe von Fortpflanzungszellen zur Befruchtung wird gleichfalls durch Reize ausgelöst. Individuen, bei welchen solche Reize jederzeit wirksam sind, unterliegen wiederum im Kampf ums Dasein bezüglich ihrer Nachkommenschaft, weil sie ihre Fortpflanzungszellen teilweise in unzweckmässigen Zeitpunkten oder in unzweckmässiger Ausbildung abgeben. Wenn dagegen Individuen durch äussere Einflüsse, die mit gewissen für die Art gefahrbringenden Perioden regelmässig wechseln, ihre anregenden Reize erst erhalten, und zwar in ganz bestimmten passenden Zeitpunkten, so sind sie im Vorteil gegen jene anderen Individuen der Art. Sie pflanzen sich fort; jene gehen zu Grunde, ohne genügend für Nachkommenschaft gesorgt zu haben. Die Ursachen, die die Reize auslösen, welche den Beginn, die Einleitung des Fortpflanzungsvorganges bz. der Befruchtung nach sich ziehen, sind verschiedener Art. Bald spielen beginnender Wassermangel, zunehmende oder abnehmende Konzentration der Nahrungsflüssigkeit, bald reichliche, bald spärliche Nahrung, bald gewisse Temperaturverhältnisse, gewisse Belichtungsverhältnisse die Rolle des auslösenden Reizes. Diejenigen Individuen, welche sich einem solchen, im günstigsten Zeitpunkt auf sie einwirkenden Reize zur Einleitung des Befruchtungsvorganges angepasst haben, gelangen am vorteilhaftesten zur Fortpflanzung. Die Befruchtung solcher geschlechtlicher Individuen vollzieht sich in ganz bestimmten Zeiträumen. Ist beispielsweise der Winter der gefahrbringende Zeitraum, so werden diejenigen Arten, welche Dauersamen erzeugen, ihre Befruchtung mehr oder weniger kurz vor Eintritt der kälteren Jahreszeit ins Werk setzen, so dass eben noch die Samen ausgebildet, zur Reife gebracht werden können, während andere Arten ohne Dauersamen die Befruchtung möglichst früh im Frühjahr vollziehen, damit der junge Nachwuchs bei Beginn der kälteren Jahreszeit bereits genügend gekräftigt ist.

Vererbung.

Aus unseren Entwicklungen folgt, dass die Eigenschaften der Mutterindividuen auf die Tochterindividuen, dass diejenigen der Eltern auf ihre Nachkommen sich vererben, wie wir auch S. 29 bereits erwähnt haben. Diese Eigenschaften wären für alle Individuen einer Art genau die gleichen, wenn sie alle immer genau unter den gleichen Lebensbedingungen existieren würden. Nun ist dies aber keineswegs der Fall. Demnach zeigen alle Individuen jeder Art gewisse, wenn auch noch so geringe Abweichungen voneinander. Sogar die unmittelbaren Nachkommen eines und desselben Individuums sind voneinander verschieden, schon weil das letztere selber stets wechselnden Lebensbedingungen ausgesetzt ist. Bald hat es diese, bald jene Nahrung; bald befindet es sich in wärmerer, bald in kälterer Umgebung, bald unter stärkerer, bald unter schwächerer Belichtung usf. Diesen Wechseln passt sich das Individuum an, so gut es kann. Folglich verändert es zum Teil seine Eigenschaften, und diese werden ja auf die Nachkommen vererbt. Die Nachkommen nehmen von jeder Eigenschaft ihrer Erzeuger so viel als möglich einen gewissen Mittelwert an, den während der Entwicklung der bt. Fortpflanzungszelle in ihrem Erzeuger dieser letztere selber im Mittel besass. Diesen Schluss müssen wir ziehen aus der Forderung unserer Theorie, aus unserem ersten biologischen Fundamentalsatz, dass durch Assimilation stets möglichst Gleiches erzeugt wird. Nur solche Individuen, welche genau im gleichen Zeitraume von den gleichen Individuen erzeugt wurden und welche stets den gleichen Ernährungs- und Lebensbedingungen ausgesetzt waren, werden sich nicht merklich voneinander unterscheiden.

Es zeigen also die Nachkommen eines und desselben Individuums in ihren ererbten Eigenschaften gewisse Abweichungen voneinander. Sind aber die Lebensbedingungen für die bt. Art durch lange Zeiträume hindurch wenigstens im Mittel die gleichen, so werden jene Abweichungen doch immer nur um gewisse Mittelwerte schwanken. Ihre Schwankungen gehen parallel den Schwankungen der Lebensbedingungen um einen Mittelwert dieser letzteren, welcher ja nach unserer soeben gemachten Annahme lange Zeit gleich bleiben soll. In diesem Falle zeigt die Art eine gewisse Stabilität, die Art als solche wird durch jene Zeit-

räume hindurch genau gleich bleiben, ihre Schwankungen um bestimmte Mittelwerte behalten den gleichen Wert. Bei ungeschlechtlicher Fortpflanzung erhalten sich die entsprechenden Schwankungen der Eigenschaften ohne weiteres, weil die erzeugenden Individuen selber fortwährend den gleichen Schwankungen ihrer Lebensbedingungen unterliegen. Aber auch bei geschlechtlicher Fortpflanzung kommt indirekt die gleiche Ursache zur Geltung. Allerdings vereinigen sich bei dieser stets zwei Individuen, die etwas verschiedene Eigenschaften besitzen. In den Nachkommen werden aber die Eigenschaften beider Eltern vermischt, und wenn die Kopulation entweder dem blossen Zufall überlassen bleibt oder wenn sie immer von den gleichen Ursachen bedingt und geleitet wird, so müssen auch bei geschlechtlicher Fortpflanzung immer wieder durchschnittlich dieselben Mittelwerte erscheinen.

Abänderung der Art.

Alle Zellen eines Zellenstaates, alle Organoide einer Zelle, alle Substanzen eines Organoids stehen, wie wir mehrfach hervorgehoben haben, in Korrelation zu einander. Es besteht unter ihnen ein gewisses Gegenseitigkeitsverhältnis, und wenn wir an irgend einem Individuum eine gewisse Abänderung einer bestimmten Eigenschaft im Vergleich zu derjenigen aller anderen Individuen derselben Art bemerken, so ist nicht nur diejenige Substanz geändert worden, welcher gerade die entsprechende geänderte Eigenschaft zukommt, sondern alle anderen Substanzen sind gleichfalls geändert worden, wenn auch noch so wenig. Nur dann stehen alle Substanzen wieder in vollkommener Korrelation zu einander. Jedem Individuum mit einer geänderten Eigenschaft entsprechen also auch geänderte Korrelationsverhältnisse. Durch fortwährende Schwankungen der Lebensbedingungen ändern sich diese Korrelationsverhältnisse, nach Massgabe solcher Schwankungen, Schritt haltend mit den Schwankungen der Eigenschaften selber.

Setzt nun der Kampf ums Dasein ein, wird infolgedessen nicht mehr der bisherige Mittelwert einer bestimmten Eigenschaft der günstigste, sondern ein etwas geänderter, so sind diejenigen Individuen im Kampfe bevorzugt, welche die günstigere

Abweichung jener Eigenschaft vom Mittelwert besitzen. Sie bleiben Sieger in diesem Kampfe, sie pflanzen sich stärker fort. Die entsprechend geänderte Korrelation sorgt für Aenderung aller übrigen Substanzen im entsprechenden Sinne. Insbesondere werden die verdauenden Substanzen vermöge der Korrelation so abgeändert, dass die von ihnen gelieferten nährenden Stoffe die geänderte Eigenschaft unterhalten. Nach Massgabe des Erfordernisses werden in solcher Weise Eigenschaften der Individuen auf natürliche Weise geändert, durch den Kampf ums Dasein. Stets entsteht das Zweckmässige. Das Unzweckmässige geht zu Grunde. Individuen, welche aus irgend einer vielleicht nebensächlichen Ursache unzweckmässige Eigenschaften erhalten haben, gehen früher zu Grunde, als andere gleichartige günstiger veranlagte Individuen, wenn sie nicht neben ihren unzweckmässigen andererseits wieder zweckmässige Eigenschaften sich erwerben konnten, die ihnen mehr Vorteile eintragen, als ihnen von jenen Nachteile drohen.

Was die Natur scheinbar zufällig durch den Kampf ums Dasein, das bewirken höher entwickelte Wesen, namentlich die Menschen, durch zielbewusstes Handeln. Durch bestimmte Nahrungsverhältnisse („Nahrung“ im weitesten Sinne seiner Bedeutung aufgefasst) können wir Eigenschaften sehr vieler Individuen, wahrscheinlich aller Individuen merklich beeinflussen. Ziehen wir ausserdem nur ganz bestimmt veranlagte Individuen zur Fortpflanzung herbei, so vermögen wir bestimmte Eigenschaften künstlich gezüchteter Individuen in bevorzugter Weise entstehen zu lassen; wir sind im stande, scheinbar ganz neue Eigenschaften hervorzubringen. Ich erinnere an den grossen Einfluss, welchen man mittels der Nahrung auf die Pflanzenwelt ausüben kann. Werden bei geschlechtlichen Individuen nur diejenigen zur Befruchtung verbunden, welche Andeutungen bestimmter gewünschter Eigenschaften besitzen, so treten diese Eigenschaften in einzelnen ihrer Nachkommen stärker hervor, als in ihnen. Die Eltern besitzen nämlich beide, nach unserer Auswahl, entsprechend ihrer vom Mittelwert nach der gleichen Seite abweichenden Eigenschaft, eine Korrelation ihrer Substanzen, die nach der gleichen Seite von dem Mittelwert der Korrelation abweicht, wie er sonst dieser Art zukommt. Die abweichende Korrelation, der abweichende Mittelwert vererbt

sich auf ihre Nachkommen, und die Eigenschaften dieser letzteren schwanken nunmehr im entsprechenden Intervall um den neuen durch Vererbung übertragenen Mittelwert. Wählen wir jetzt wiederum diejenigen Individuen unter den Nachkommen aus, welche die gewünschte Eigenschaft in stärkerem Masse als die übrigen besitzen, und benutzen wir nur diese zur weiteren Fortpflanzung, so wird bei den aus ihnen hervorgehenden Nachkommen der Mittelwert der Korrelation gleichfalls derselbe wie ihr eigener. Aber dieser Mittelwert ist nicht mehr derselbe wie derjenige der früheren Generation, weil wir durch unseren Eingriff einen neuen in bewusster Weise verschobenen Mittelwert der Korrelation herausgenommen haben, welcher der von uns gewünschten Eigenschaft besser entspricht. Durch fortgesetztes Eingreifen in dieser Richtung gelingt es uns, jenen Mittelwert der Korrelation weiter und weiter zu verschieben und demzufolge ganz bestimmte gewünschte Eigenschaften an Individuen hervorzubringen, besonders dann, wenn es uns möglich ist, auch mittels der allgemeinen Ernährungs- und Lebensbedingungen auf die umzuwandelnde Art einzuwirken. Es ist genügend bekannt, welche bedeutenden Erfolge die Züchter im Pflanzen- und im Tierreich aufzuweisen vermögen.

Vererbung erworbener Eigenschaften.

Die Lebensbedingungen sind für jedes Individuum fortwährend wechselnde, und demzufolge wechseln seine Eigenschaften, vermöge seines Anpassungsvermögens. Bei sehr wenig entwickelten Individuen sind solche Aenderungen für uns kaum oder gar nicht wahrnehmbar, bei hoch entwickelten Individuen fallen sie uns auf. Von zwei Bäumen derselben Art, von denen der eine, freistehende, immer wieder starken Winden ausgesetzt ist, der andere aber fast gar keinen solchen, weil er ringsum von anderen gleich hohen Bäumen umgeben ist, entwickelt der erste viel stärkere Stützzellen, viel mehr Stützsubstanz, als der zweite. Denn die Stützsubstanz arbeitet infolge der Beanspruchung in jenem stärker und assimiliert also in ihm mehr als in diesem (3. Fundamentalsatz, S. 3). Von zwei sonst gleichen Tieren derselben Art, von denen das eine mit seinen Extremitäten stärker arbeitet als das andere, entwickelt das

erstere beispielsweise mehr entsprechende kontraktile und stärkere Stützsubstanzen als das zweite, vermöge der durch Arbeit bewirkten stärkeren Assimilation. Solche Individuen mit stärker arbeitenden Teilen erwerben sich also neue oder doch zweckmässig verbesserte Eigenschaften, um so mehr, je länger sie den bt. Lebensbedingungen ausgesetzt sind. Mit diesen Eigenschaften bestimmter Substanzen des Individuums ändern sich der Korrelation zufolge auch die Eigenschaften aller anderen Substanzen desselben; hauptsächlich ändern sich diejenigen der verdauenden Substanzen. Denn diese müssen in einseitiger Weise vermehrte Nahrung jenen Substanzen des Individuums zuführen, welche sich übermässig stark vermehren. Von allen verdauenden Fistellen arbeiten nun diejenigen am stärksten, welche diese besondere stets wieder weggeführte und aufgenommene Nahrung erzeugen. Diese verdauenden Fistellen vermehren sich daher durch Assimilation am stärksten, während andere verdauende Fistellen, deren Nahrungssäfte nicht verbraucht, nicht weggeleitet werden, nicht arbeiten, also auch nicht neue gleichartige Fistellen durch Assimilation erzeugen und folglich mit der Zeit zerfallen, verschwinden. In dieser Weise erhält das ganze Individuum durchweg geänderte Nahrung, und damit ändern sich alle seine Eigenschaften mehr oder weniger, infolge jener geänderten Daseinsbedingungen, denen es sein Leben hindurch ausgesetzt ist. Das Individuum erwirbt also gewisse Eigenschaften durch seine eigene Lebensthätigkeit.

Erhält nun das Individuum Nachkommen, so werden die bt. Fortpflanzungszellen während ihrer ganzen Entwicklung im Inneren des sie erzeugenden Individuums unter dem Einfluss von dessen Eigenschaften stehen und somit diese Eigenschaften bz. Mittelwerte derselben durch Vererbung auf die Nachkommen übertragen. Der Mittelwert einer zu vererbenden Eigenschaft setzt sich zusammen aus allen Werten dieser Eigenschaft, die das Individuum während des gesamten Aufbaus der bt. Fortflanzun gszelle besessen hat. Demnach können sich in gewissen Fällen Eigenschaften durch zwei oder sogar durch mehrere Generationen hindurch vererben, wenn etwa die Fortpflanzungszellen zwei oder mehr Generationen zu ihrem vollständigen Aufbau aus einzelnen Atomen nötig haben. Andererseits werden im Leben erworbene Eigenschaften sich um so stärker vererben,

je mehr die Fortpflanzungszelle sich vollständig von Grund aus in demjenigen Zeitraum aufgebaut hat, in welchem das elterliche Individuum die von ihm erworbene Eigenschaft bereits besass. Daher vererben sich hauptsächlich die allgemeinen der ganzen Art zukommenden Eigenschaften auf die Nachkommen, weil die entstehenden Fortpflanzungszellen fortwährend unter ihrem Einflusse stehen. Dagegen beanspruchen namentlich bei höher entwickelten Individuen, zb. bei Säugetieren, die Fortpflanzungszellen für ihre Entwicklung, für ihren vollständigen Aufbau aus Atomen so grosse Zeiträume, dass die spezielleren im Lauf des Lebens erworbenen Eigenschaften solcher Tiere nur einen geringen, gewöhnlich sogar kaum einen merklichen Einfluss auf die sich entwickelnden Fortpflanzungszellen haben.

Regeneration.

Bei allen Zellenstaaten, bei allen Individuen des Pflanzen- und des Tierreiches begegnen wir der Regenerationsfähigkeit. Je weniger bei denselben die Differenzierung der einzelnen Zellen ausgebildet ist, um so mehr ist jede Einzelzelle des Staates im stande, aus sich selber den ganzen Zellenstaat wieder neu entstehen zu lassen. Bei Zellenstaaten aus völlig gleichartigen Zellen ist eine solche Regenerationsfähigkeit eine durchaus selbstverständliche, sie entspricht nur dem allgemeinen Wachstum und der Zellteilung. Je höher aber die Zellenstaaten entwickelt sind, um so mehr verschwindet die Regenerationsfähigkeit aller ihrer Zellen. Bei der Zellteilung entstehen in der Regel zwei gleiche Zellen, welche beide wachsen, bis sie ihre normale Grösse erreicht haben. Bevor letzteres geschehen ist, kann äussere Beeinflussung bestimmend einwirken. Sie kann bewirken, dass eine etwas andere Zelle entsteht. Teilt sich zb. eine kontraktile Zelle bei genügender Nahrungszufuhr in zwei Zellen, so enthalten diese neben der kontraktilen Substanz auch alle anderen dem Zelltypus des bt. Individuums zukommenden Substanzen, letztere jedoch verhältnismässig in weit geringerer Menge als erstere. Alle diese Substanzen müssen noch an Menge zunehmen, bis die normale Zellgrösse erreicht ist. Wenn nun in einer neuen so entstehenden Zelle (oder in beiden) während ihres Wachstums die kontraktile Substanz in keiner merklichen

Weise, die nervöse Substanz dagegen sehr stark in Anspruch genommen wird, so wächst in ihr die nervöse Substanz verhältnismässig stärker als die kontraktile, und es kann aus der ursprünglichen kontraktilen Zelle, wenn die Differenzierung in der bt. Art nicht eine gar zu ausgeprägte ist, unter passenden Umständen eine nervöse Zelle hervorgehen. In einem anderen Fall könnte aus ihr ebensowohl eine Stützzelle, eine verdauende Zelle werden, usf.

Je höher differenziert ein Individuum ist, um so weniger entstehen stark voneinander abweichende Zellenarten ganz unmittelbar auseinander. Aber allmähliche Umwandlungen einer Zellenart in eine andere müssen auf diesem Wege immer möglich sein. Es regenerieren in solcher Weise auch Individuen mit höher differenzierten Zellen kleinere ihnen abhanden gekommene, gewaltsam durch Operation oder durch andere Ursachen entfernte Teile ihres Körpers. Stets werden aber in erster Linie die Zellen ihre Nachbarzellen zu regenerieren suchen, mit denen sie ja ohnehin infolge der Berührung in innigster Korrelation stehen. Verliert also etwa ein Tier seinen Schwanz, so werden nicht zuerst die Zellen der Schwanzspitze regeneriert, sondern diejenigen, welche dem verletzten Teile, welche den an der Wundfläche noch stehengebliebenen Zellen unmittelbar benachbart waren, oder doch zwischen diesen beiden Grenzwerten liegende Zellen. Die durch Regeneration neu entstandenen Zellen entwickeln sodann bei ihrer Teilung neue wieder etwas andere Zellen, von denen die einen der Zellenart der Schwanzspitze, die anderen der Zellenart der Wundfläche ähnlicher sein mögen, je nach ihrer Lage, usf., bis zuletzt der ganze Schwanz mehr oder weniger regeneriert ist. Analog regenerieren die Individuen andere verloren gegangene Teile. Es giebt indessen doch ziemlich hochentwickelte Pflanzen, die unter Umständen aus kleinsten abgeschnittenen Teilchen sich wieder vollständig zu regenerieren im stande sind. Ueberaus merkwürdig ist auch die Regenerationsfähigkeit gewisser Fortpflanzungszellen, deren eine Hälfte im Stadium der ersten Teilungsvorgänge abgetötet worden ist. Wir kommen auf solche Vorgänge bei der spezielleren Behandlung der Regeneration in den beiden Reichen nochmals zurück.

2. Kapitel.

Pflanzen.

Grenze zwischen Pflanze und Tier.

Wenn wir alle einzelligen selbständigen Lebewesen in das Protistenreich verweisen, so können wir im Pflanzen- und im Tierreich nur noch Zellenstaaten antreffen. Nun sind aber in manchen Fällen Unterschiede zwischen diesen drei Reichen nicht mehr zu erkennen. Bei vielen Protisten sind wir im Zweifel, ob sie nicht wegen ihrer gesamten Eigenschaften, wegen ihres Habitus, wegen ihres Stoffwechsels eigentlich in das Pflanzenreich oder in das Tierreich gerechnet werden müssten, und ebenso können wir zwischen Pflanzenreich und Tierreich keine scharfe Grenze ziehen. Bezeichnen wir nämlich diejenigen Zellenstaaten, diejenigen Individuen als Pflanzen, welche sich unmittelbar aus unorganischer Materie ernähren, als Tiere alle übrigen, welche organischer Materie zu ihrem Aufbau bedürfen, so werden wir zu der Frage geführt, was denn organische, was unorganische Materie sei? Zu der letzteren rechnen viele die Kohlensäure (sowie das Kohlenoxyd), und doch bezeichnen sie als organische Materien so ziemlich alle übrigen Kohlenstoffverbindungen. Es ist daher unverständlich, weshalb die Kohlensäure nicht gleichfalls in das Gebiet der organischen Materien zu nehmen ist. Aus der Kohlensäure beziehen aber fast alle Pflanzen ihren Kohlenstoff. Von der Kohlensäure führt sodann eine fortlaufende Kette organischer Verbindungen zu den übrigen komplizierteren organischen Substanzen. Wir müssten also eigentlich Tiere als Zellenstaaten definieren, welche zu ihrer Nahrung gewisser hochkomplizierter stickstoffhaltiger Kohlenstoffverbindungen bedürfen,

die wir bis dahin nicht willkürlich durch Synthese aufzubauen vermögen. Jedoch droht auch diese Definition nicht ewige Zeiten gültig zu bleiben; denn den chemischen Forschern ist es in neuerer Zeit mehr und mehr gelungen, nicht nur durch Analyse kompliziertere organische Substanzen in ihre Bestandteile zu zerlegen und den Aufbau ihrer Molekeln klarzulegen, sondern auch umgekehrt aus einfacheren durch Synthese kompliziertere organische Substanzen zusammenzusetzen, Substanzen, die im Pflanzenreich, und solche die im Tierreich eine wichtige Rolle spielen.

Ausserdem giebt es zahlreiche Zellenstaaten, welche ganz den Aufbau von Pflanzen besitzen, daneben aber sich nur von organischer Materie ernähren, die sie anderen Pflanzen entreissen. Es sind dies die pflanzlichen Parasiten. Es giebt sogar Pflanzen, welche sich namentlich von hochorganisierten Tieren ernähren, die insektenfressenden Pflanzen.

Keine andere Eigenschaft oder Lebensfunktion der Pflanzen oder der Tiere ist so durchgreifend ausgebildet, dass wir durch dieselbe das Tierreich scharf vom Pflanzenreich trennen könnten, und es ist dies auch ganz begreiflich. Ueberall muss es Uebergänge von einem Reich in das andere geben oder gegeben haben. Weil die Nahrungsbedingungen und überhaupt alle Lebensbedingungen da und dort stetig veränderliche sind, müssen auch die Lebewesen, die sich denselben angepasst haben, einst stetige Uebergänge gezeigt haben. Wenn wir jetzt solche Uebergänge nicht mehr überall wahrnehmen, so rührt dies einfach davon her, dass gewisse Zwischenglieder in der Reihe der Uebergänge im Kampf ums Dasein unterlagen; es passten sich dann die anfangs nur wenig voneinander unterschiedenen Arten durch weitere Differenzierung, vermöge ihres Anpassungsbestrebens, mehr und mehr den verschiedensten Lebensbedingungen an. Wir können daher nicht erwarten, scharfe Grenzen zwischen Pflanzen- und Tierreich zu finden. Vielmehr müssen wir es den Systematikern überlassen, Lebewesen, welche ebensowohl in das eine wie in das andere Reich eingereiht werden könnten, dem einen oder dem anderen derselben zuzuweisen.

A. Differenzierungen.

Differenzierung der Pflanzenzellen.

Durch Aneinanderlagerung vieler Zellen entsteht der Zellenstaat. Die Zellen differenzieren sich, vermöge ihrer ungleichen Ernährungsweise, vermöge der ungleichen Arbeit, welche die einen und die anderen Zellen des Staates für denselben zu verrichten haben. Es entstehen Stützzellen, transportierende, verdauende, sezernierende Zellen usf., wie wir dies im vorigen Abschnitt bereits auseinandergesetzt haben. In Pflanzen spielen die kontraktilen Zellen, wie es scheint, eine bei weitem untergeordnetere Rolle als in Tieren, weil jenen in der Regel die Fähigkeit fehlt, sich selbständig fortzubewegen. Auch nervöse Zellen sind wohl in Pflanzen bei der Differenzierung im allgemeinen nicht ausgebildet worden, wenigstens nicht in dem Sinne, dass eine solche Zelle ausschliesslich die Aufgabe hätte, Reize von einer Zelle zur anderen zu übertragen, wie dies im Tierreich so vielfach der Fall ist.

Thallophyten und Cormophyten.

Im Pflanzenreich unterscheidet man die niederen, die weniger differenzierten Pflanzen als Thallophyten von den höher differenzierten, Wurzeln, Stamm und Blätter entwickelnden Pflanzen, den Cormophyten. Die ersteren entstehen, wenigstens wenn sie zu grösseren Dimensionen gelangen, vorzugsweise im Wasser. Sie bleiben rings umgeben von Wasser, so dass bei nur linearer oder flächenhafter Aneinanderlagerung ihrer Zellen alle diese gleich gut aus dem umgebenden Wasser die Nahrung aufzunehmen vermögen. Wird jedoch die Zusammenlagerung der Zellen eine räumliche, so sind bei der Nahrungsaufnahme die oberflächlichen Zellen im Vorteil; sie müssen also die Rolle der verdauenden Zellen übernehmen. Es entstehen kompliziertere Gebilde, welche differenzierte verdauende, transportierende Zellen usf. besitzen, wie man solchen in der That bei Thallophyten vielfach begegnet. Selbstverständlich kann demnach der Uebergang von den Thallophyten zu den Cormophyten gleichfalls kein scharf abgegrenzter sein. Beispielsweise hat Hydrolapathum sanguineum

(Fig. 5) eine recht weitgehende Differenzierung erfahren, und es erinnert dieser Thallophyt vermöge seiner Blatt- und Stengelbildung in seinem Aufbau an höher entwickelte Cormophyten.

Fig. 5.
Hydrolapathum sanguineum ($^1/_2$ nat. Gr.).
Nach Strasburger.

Thallophyten, welche sich irgendwo an einer festen Wandung im Wasser, also beispielsweise auf dem Meeresboden festsetzen, müssen sich weiter differenzieren, als im Wasser schwebende Pflanzen. Denn nun erhalten die Zellen der Haftstelle weniger leicht, weniger unmittelbar Nahrung, als diejenigen der im Wasser flottierenden Pflanzenteile. Die letzteren Zellen werden also zu verdauenden Zellen, wogegen die Zellen der Haftstelle besonders das Stützen übernehmen; zwischen beiden Zellenarten müssen dann zum mindesten noch transportierende Zellen sich durch Differenzierung entwickeln, welche die Zellen der Haftstelle mit der nötigen Nahrung versorgen. In dieser Weise können auch in Thallophyten schon ziemlich komplizierte Gefässe entstehen, Kanäle, in denen die Nahrung von einer Stelle der Pflanze zur anderen geleitet wird.

Als die Lebensbedingungen für einzelne Thallophyten in der Weise sich änderten, dass diese Pflanzen zeitweise aus dem Wasser mehr und mehr in die Luft hinausragten und schliesslich ganz auf fester Erde sich entwickeln mussten, differenzierten sich die Zellen derselben weiter und weiter. Es entstanden aus Thallophyten die Cormophyten. Bei diesen sind in der Regel die in der Erde befindlichen Zellen zur Wasseraufnahme eingerichtet, zur Aufnahme von wässerigen Lösungen, durch welche anorganische Stoffe der Pflanze zugeführt werden. Den Blättern ist dagegen in erster Linie die Aufgabe zugewiesen, Kohlen-

säure aus der atmosphärischen Luft aufzunehmen, sie in ihre Atome zu zerlegen und den Kohlenstoff, sowie auch einen Teil des Sauerstoffs derselben für die Assimilation pflanzlicher Substanzen zu verwenden, die da und dort zum weiteren Aufbau der Pflanze nötig sind. Demnach enthalten sowohl die Wurzeln als auch die Blätter verdauende Zellen, die an dem bt. Pflanzenteil verschiedene Nahrung in verschiedener Weise aufnehmen. Beide Zellenarten suchen, um viel Nahrung aufnehmen zu können, möglichst grosse Pflanzenoberflächen zu entwickeln. Die Blätter bestehen in der That zum grossen Teil aus flächenhaft aneinander gereihten Zellen. Diese Flächenausbreitung der verdauenden Zellen der Blätter wird deshalb noch notwendiger, weil denselben die Dissociation der Kohlensäuremolekeln im allgemeinen nur unter dem Einfluss des Lichtes, unter Aufnahme der Energie des Lichtes gelingt. Die Blätter müssen also dem Lichte sich zuwenden, demselben grosse Oberflächen darbieten, soweit dies für die Entwicklung der Pflanze zweckmässig ist. Die feinsten Wurzelteile, die Wurzelhaare erreichen dagegen grosse Oberflächen und zugleich die Fähigkeit in alle Ritzen und Spalten des Erdreichs einzudringen dadurch, dass sie die Gestalt von Röhrchen annehmen, welche bei ihrem Wachstum festen Hindernissen ausweichen, welche sich festen nahrungsflüssigkeitenthaltenden Körpern anschmiegen (vgl. die Abbildung unter Litteratur). Möglicherweise besitzen die verdauenden Wurzelhaarzellen verschiedenartige Fistellen zur Aufnahme verschiedener in Wasser gelöster, für das Pflanzenwachstum notwendiger Substanzen.

Reservestoffe.

Wurzeln und Blätter führen der Pflanze ganz ungleiche Nahrungsstoffe zu; namentlich durch das Zusammenwirken dieser verschiedenartigen Bestandteile entstehen sodann höhere Atomverbindungen. Dieselben kommen besonders in den Blättern zu stande, unter Mitwirkung der aufgenommenen Energie des Lichtes. Wo Chlorophyll vorhanden ist, wird dabei Stärke gebildet, ein Reservestoff. Da und dort entstehen auch andere Reservestoffe. Diese Reservestoffe werden zu allen Pflanzenteilen, je nach Bedarf, hintransportiert. Alle lebenden Zellen

erhalten ihre Nahrung, und ihre Substanzen assimilieren infolgedessen. Um lebensfähig zu bleiben, müssen sie auch Sauerstoff erhalten. Sie atmen, verbrauchen Sauerstoff, geben dafür Kohlensäure ab. Vermöge der chemischen Wirkungen, die bei diesem Atmungsvorgang sich abspielen, gelingt den Substanzen die Assimilation besonders leicht.

Wasserbahnen, Saftbahnen.

In Pflanzen, die auf der Erdoberfläche wachsen und in die Luft hineinragen, müssen also durch Differenzierung ihrer Zellen verschiedenartige Gefässe entstanden sein, die nach unserer Auffassung aus transportierenden Zellen bestehen. Bestimmte Gefässe haben die Aufgabe, die wässerigen Lösungen, welche von den Wurzeln aufgenommen worden sind, in die Blätter zu leiten, sowie in andere Pflanzenteile, in denen teils die gelösten Stoffe, teils das Wasser selber zur Synthese von Stoffen, zur Assimilation nötig ist. Dieselben Gefässe oder bei höher differenzierten Pflanzen andere Gefässe leiten die in den Blättern durch Synthese entstandenen organischen Substanzen, zb. die Reservestoffe, nach allen Stellen der Pflanze hin, wo dieselben für das Wachstum nötig sind. In Pflanzen von komplizierterem Bau dringen wieder andere Gefässe zu allen Zellen hin, um Luft herbeizuführen, um den Zellen die Atmung zu ermöglichen. Eine weitere Differenzierung besteht darin, dass Zellen entstehen, die ganz mit Reservestoffen angefüllt sind. Es wird diese Differenzierung beispielsweise dadurch bedingt, dass der Wasserzufluss durch die Wurzeln ein unregelmässiger, ein mehr oder weniger periodisch wechselnder ist, weil bald Nässe, bald Trockenheit vorherrscht; dass ferner die Blätter bald das zur Synthese nötige Licht erhalten, bald es entbehren müssen, je nachdem es Tag oder Nacht, hell oder dunkel ist usf. Die Pflanzen brauchen ferner Reservestoffe in grösseren Mengen, wenn sie gefahrbringende Perioden des Witterungswechsels, wenn sie grosse Kälteperioden, den Winter, oder wenn sie grosse Trockenheitsperioden der heissen Jahreszeit zu überstehen befähigt sein sollen. In denjenigen Pflanzen, welche den kompliziertesten Aufbau besitzen, weil sie den verwickeltsten Lebensbedingungen sich anpassen mussten, mögen jeweilen eigene Ge-

fässe für verschiedenartige zu transportierende Stoffe sowohl in der einen Richtung, von den Wurzeln zu den Blättern hin, als auch in der anderen Richtung, von den Blättern gegen die übrigen Pflanzenteile, gegen die Wurzeln hin entstanden sein. Es mögen sich auch verschiedene Zellenarten für die Aufbewahrung verschiedenartiger Reservestoffe durch Differenzierung entwickelt haben.

Saftsteigen.

Die grösseren Gefässe sind aus verschiedenen, oft aus zahlreichen Zellen entstanden, durch Auflösen und Verschwinden derjenigen Membranen, welche die Zellen anfänglich voneinander schieden. Dadurch wurden solche Zellenkomplexe zur Leitung geeigneter. Würde nun ein wasserleitendes Gefäss von der Wurzel bis zum Blatt eines hohen Baumes reichen, ohne irgend eine Querwand im Inneren, so ergäben sich in einer solchen Röhre ganz bedeutende hydrostatische Druckdifferenzen zwischen unten und oben. Zwar würde die Flüssigkeit in diesem Gefäss mit dem geringsten Widerstand transportiert werden können; wenn aber durch irgend einen Zufall an der Basis desselben eine Verletzung zu stande käme, durch die das Gefäss geöffnet würde, so müsste daraufhin die ganze Flüssigkeitssäule herabsinken, die Flüssigkeit würde aus dem Gefäss ausfliessen. Denn viele von den Gefässen der Pflanzen sind so weit, dass die Kapillarkraft allein grössere Flüssigkeitssäulen nicht zu tragen vermöchte.

Es geht aus dieser Ueberlegung hervor, dass ununterbrochen von der Wurzel bis zu den Blättern fortlaufende Gefässe für die Pflanzen, wenigstens für diejenigen, welche eine grössere Höhe erreichen, unvorteilhaft wären, dass das Leben von Pflanzen mit solchen Gefässen leicht gefährdet wäre. Solche Arten von Pflanzen müssten demnach im Kampf ums Dasein unterliegen gegen andere Pflanzen mit vorteilhafterer Zellendifferenzierung. Andererseits ist der Vorteil kein unbeträchtlicher, den das Verschmelzen mehrerer Zellen zu einem längeren Gefäss bietet. In solchen Gefässen geht eben der Transport der Substanzen leichter vor sich, als nur von Zelle zu Zelle, wenn alle diese Zellen durch Membranen voneinander geschieden wären, wenn

die zu transportierenden Substanzen immer und immer wieder durch Membranen hindurchgeleitet werden müssten.

Demzufolge entstehen durch Differenzierung in jeder Pflanze Gefässe von bestimmten Längen, so wie diese gerade für die Pflanze die zweckmässigsten sind. Denn die Pflanzen mit unzweckmässig differenzierten Zellen gehen im Kampf ums Dasein stets zu Grunde, früher oder später. Die Längen der Gefässe mögen auch für verschiedene Gefässarten verschieden sein. Steigen wir also an einem Baum von der Wurzel empor gegen die Krone desselben hin, so begegnen wir Gefässen bestimmter Länge, die sich so aneinanderlegen, dass immer das eine die Fortsetzung des anderen bildet. Die Membran, welche diese Gefässe voneinander trennt, und welche senkrecht oder schräg zur Längsrichtung der Gefässe verlaufen kann, ist durchlässig für Flüssigkeiten, für Lösungen; jedoch ist sie, wie jede aus Fistellen bestehende Membran, in ungleicher Weise durchlässig für verschiedene Substanzen (I, S. 54). Infolge dieser Ungleichheit kann über der Membran ein grösserer Druck bestehen, als unterhalb derselben, ohne dass deswegen das Hindurchströmen der hindurchzulassenden Flüssigkeiten von unten nach oben verhindert würde. Die entsprechenden Ergebnisse der Versuche über die Osmose sind ja bekannt genug. Es strömt die Flüssigkeit, hauptsächlich das Wasser, jedoch strömen bei Pflanzen auch die von den Wurzeln aufgenommenen im Wasser löslichen Substanzen durch solche Membranen hindurch, wenn ein passender im Wasser gleichfalls löslicher Stoff zu beiden Seiten der Membran in verschiedener Konzentration enthalten ist. Das Strömen dauert so lange, bis die Konzentration zu beiden Seiten der Membran die gleiche oder bis die Druckdifferenz über und unter der Membran eine solche geworden ist, wie sie nach den Gesetzen der Osmose der Konzentrationsdifferenz entspricht.

Daraus erklärt sich nun das Aufsteigen der von den Wurzeln aufgenommenen wässerigen Lösungen bis zu den höchsten Höhen, in denen sich Pflanzenteile, namentlich Blätter befinden. Nach Massgabe des Wachstums der Pflanze entstehen in ihren Blättern kompliziertere in Wasser lösliche Substanzen, welche durch Gefässe nach allen Teilen der Pflanze befördert werden, weil sie überall zum Wachstum, zum Lebensunterhalt derselben nötig sind. Demnach werden von den Blättern aus

durch passende Gefässe und durch Gefässverbindungen solche Substanzen auch in die Wasserleitungsbahnen hineinbefördert. Je weiter nun diese Wasserleitungsgefässe von den Blättern entfernt sind, um so geringere Mengen solcher Substanzen werden ihnen zugeführt. In Beziehung auf die von den Blättern gelieferten Substanzen nimmt demnach die Konzentration in den Wasserleitungsbahnen von oben nach unten mehr und mehr ab. Besitzen daher die Wasserleitungsbahnen Zwischenmembranen, aus Fistellen zusammengesetzt, die für die genannten Substanzen weniger durchlässig sind, als für die von den Wurzeln her zugeleiteten wässerigen Lösungen, so muss der Transfusionsstrom zu stande kommen.

Die erste, unterste Membran des ganzen Wasserleitungssystems ist die Membran des Wurzelhaares. Innerhalb derselben muss sich eine in Wasser lösliche Substanz befinden, von den Blättern direkt oder, wenn es sich um einen Keimling handelt, indirekt geliefert. Reicht somit das Wurzelhaar in Nahrungsflüssigkeit hinein, so dringt solche durch seine Membran hindurch, so lange, bis der hydrostatische Druck innerhalb der Wurzelhaarmembran eine bestimmte Grösse erreicht hat. Weil ausserhalb des Wurzelhaares annähernd Atmosphärendruck herrscht, ist der Druck innerhalb des Wurzelhaares etwas grösser als der Atmosphärendruck. Die Wasserbahn reicht nun vom Wurzelhaar aus nach oben, über eine gewisse Länge, eine gewisse Höhe hin, sagen wir beispielsweise so weit, bis der hydrostatische Druck im Inneren dieses ersten Gefässes oben gleich dem Atmosphärendruck geworden ist. Hört dort das erste Gefäss auf, setzt sich vermittelst der passenden Zwischenmembran ein analoges zweites Wassergefäss an, in welchem jene von den Blättern gelieferte lösliche Substanz in etwas grösserer Konzentration vorhanden ist, als in dem ersten Gefäss, so spielen sich an der zweiten Membran in gleicher Weise wie an derjenigen des Wurzelhaares, osmotische Vorgänge ab, denen zufolge der hydrostatische Druck oberhalb dieser Membran wiederum ein etwas grösserer ist als der unterhalb derselben herrschende Atmosphärendruck. Im Inneren des zweiten Gefässes nimmt der Druck mit der Höhe neuerdings ab bis zum Atmosphärendruck. An letzterer Stelle befindet sich eine dritte Membran, an die sich das dritte Gefäss der Wasser-

bahn anschliesst, mit noch grösserer Konzentration jener von den Blättern gelieferten Substanz. Derselbe Vorgang der Osmose wiederholt sich auch hier, und so steigt die von den Wurzeln aufgenommene wässerige Flüssigkeit von unten nach oben, höher und höher, bis zu den obersten Spitzen der Pflanze, bis in die obersten Blätter, ohne an irgend einer Stelle einen übermässig grossen oder einen überaus geringen hydrostatischen Druck zu erfordern. Vielmehr ist an jeder Stelle der Pflanze der Druck in ihren Wasserbahnen nur wenig von dem Atmosphärendruck verschieden. Durch fortwährende Differenzierung, durch Anpassung an ihre Lebensbedingungen hat sich die Pflanze im Kampf ums Dasein in solcher Weise eigene Gefässe hergestellt, welche den Transfusionsstrom möglichst wenig hemmen bz. ihn sogar befördern, welche aber andererseits keine vom Atmosphärendruck zu sehr verschiedene Drucke nötig machen.

Ganz ähnlich wie die Wasserbahnen sind die übrigen flüssigkeitführenden Bahnen, die Saftbahnen, welche die in den Blättern neu erzeugten Substanzen nach unten leiten, aus kürzeren Gefässen zusammengesetzt, die durch Membranen voneinander getrennt sind. Solche Membranen müssen durchlässig sein für das aus den Wurzeln herbeiströmende Wasser und für die aus den Blättern herbeigeleiteten Substanzen. Nicht nur von dem ersteren, sondern namentlich auch von den letzteren verbrauchen die Gefässzellen selber einen Teil; einen anderen Teil geben die Gefässe seitlich ab, durch von ihnen abgezweigte kleinere Gefässe, durch membranöse Querverbindungen mit den Gefässen der Wasserbahnen. Es folgt daraus, dass die Konzentration der Säfte in den Saftbahnen gleichfalls von oben nach unten abnimmt, dass aber diesen Konzentrationsunterschieden zufolge jene Substanzen fort und fort aus den Blättern herausgeleitet werden, hauptsächlich nach unten, durch die entsprechenden Membranen hindurch; denn die Zwischenmembranen dieser Saftbahnen müssen für solche Substanzen unter allen Umständen durchlässig sein. Vermöge der Konzentrationsunterschiede in den Saftbahnen stellen sich oberhalb und unterhalb der Zwischenmembranen wieder Druckunterschiede her, analog wie in den Wasserbahnen, so dass auch in den Saftbahnen nirgends starke Abweichungen des hydrostatischen Druckes vom Atmosphärendruck vorkommen.

Auch in den Saftbahnen reguliert sich der Wasserzufluss nach der Konzentration. Ist die Konzentrationsabnahme von oben nach unten konstant geworden, dem Beharrungszustand des Verbrauches entsprechend, so bleibt das Wasser, wenn es diesen Konzentrationsunterschieden genügend Rechnung getragen hat, fortan unbeweglich in den Saftbahnen, soweit nicht in den Blättern oder anderswo verdunstetes Wasser, das den Saftbahnen entstammt, wieder zu ersetzen ist. Nur die in den Blättern entwickelte Substanz steigt dann aus diesen herab, fliesst gegen die Wurzeln hin. Aendert sich dagegen irgendwo die Konzentration, so dass Gleichgewicht nicht mehr besteht, so strömt Wasser durch die Membranen hindurch, von Stellen zu geringer Konzentration nach denjenigen zu grosser Konzentration hin, bis wiederum Gleichgewicht hergestellt ist. Ein solcher Ausgleich ist um so notwendiger, als die Blätter zu verschiedenen Zeiten, zb. bei Tag und bei Nacht, in ungleicher Weise die von ihnen aufgebauten Substanzen abgeben. In einfachen Pflanzen, die noch geringe Differenzierung aufweisen, können Wasserbahnen und Saftbahnen ein und dasselbe sein.

Korrelation.

Die Konzentrationsverhältnisse für die in einer Pflanze entwickelten Substanzen sind nicht beliebige, sondern sie hängen ab von der Pflanzenart. Eine bestimmte Substanz wird nur bis zu einer bestimmten Konzentration assimiliert, in einer und derselben Pflanze. Diese Konzentration wird bedingt durch die Korrelation der Pflanzensubstanzen untereinander, durch das von uns mehrfach erwähnte Gegenseitigkeitsverhältnis (der Resonanz), das auch die einzelnen Zellsubstanzen miteinander eingehen mussten, um ihre Zellen lebensfähig zu erhalten. Der Maximalkonzentration einer in den Blättern entwickelten Substanz, wie sie für eine bestimmte Pflanze möglich ist, entspricht eine bestimmte Abnahme der Konzentration von oben nach unten, und dieser Konzentrationsabnahme entspricht andererseits die Höhe, bis zu der sich diese Pflanze unter normalen Bedingungen höchstens entwickeln kann, wenn sie lebensfähig bleiben soll.

Andere Differenzierungen.

Die Zellen, die sich zu Wasserbahnen, zu Saftbahnen umgestalten, werden dadurch röhrenförmig, und weil ohnehin die membranösen Zellwandungen als Stützsubstanzen aufzufassen sind, so haben die Wandungen dieser Gefässe in hervorragendem Masse die Fähigkeit, der Pflanze als stützende Substanz zu dienen. Es sind daher die transportierenden Zellen zugleich Stützzellen, und sie erhalten dadurch in dieser Eigenschaft eine erhöhte Bedeutung, dass sich in ihren Zellmembranen sehr widerstandsfähige feste Substanz abscheidet, die Cellulose. Die Pflanzenfasern besitzen zum Teil eine ungeheure Zugfestigkeit, die nach Schwendeners ausgezeichneten Untersuchungen derjenigen eines Eisendrahtes gleichkommen kann. Eine solche Festigkeit dürfen wir bei unseren Membranen erwarten, die aus eng aneinander gefügten Fistellen aufgebaut sind.

Die verdauenden Pflanzenzellen, also die Oberflächenzellen der Blätter und die Zellen, welche bei den Wurzelhaaren in Betracht kommen, sind zugleich sezernierende Zellen, insofern sie beispielsweise, wie übrigens alle anderen Zellen, vermöge der Atmung nicht nur Sauerstoff aufnehmen, sondern auch in entsprechender Menge Kohlensäure abgeben. Ausserdem wird von Blättern Wasser verdunstet, also abgeschieden, oft sogar in flüssiger Form. Es werden hie und da andere Flüssigkeiten ausgeschieden, namentlich von insektenfressenden Pflanzen. Viele Sekrete finden wir in Blüten von Pflanzen, als Blütenhonig, vermittelst dessen Insekten angelockt werden; denn diese Insekten haben die Nebenbestimmung, in Pflanzenblüten die Bestäubung vorzunehmen, also die Befruchtung einzuleiten und zu unterstützen. Gewisse an Pflanzenoberflächen abgeschiedene wachsartige Sekrete haben ihrer Pflanze den Vorteil gebracht, jede unnötige Verdunstung von Flüssigkeit möglichst zu verhindern, in Fällen, in denen die Pflanze nur selten das für ihr Gedeihen unbedingt nötige Wasser zu erlangen im stande ist. Die Wurzelhaare sezernieren insofern Stoffe, als an ihren membranösen Oberflächen, an ihren Fistellen unbrauchbare Atomgruppen abgesondert, nur die brauchbaren Atome aufgenommen werden. Ausserdem wird angegeben, dass von Wurzelhaaren Substanzen

abgeschieden werden, welche unlösliche Stoffe „aufzuschliessen“, in lösliche zu verwandeln im stande sind.

Die kontraktilen Zellen kommen im Pflanzenreich hauptsächlich dadurch zu stande, dass durch die Zellmembran hindurch in verstärktem Masse Wasser, Flüssigkeit aus dem Inneren der Zelle aus- oder in dasselbe eintritt. Durch entsprechende Einwirkungen entstehen beispielsweise bei der Assimilation der Zelle diejenigen Substanzen besonders reichlich, welche in Wasser löslich sind. Demzufolge wird Wasser begierig von aussen aufgenommen. Es entsteht im Zellinneren der grössere osmotische Druck, die Zellmembran wird gespannt, die Zelle aufgetrieben, durch den „Turgor“. Diejenigen Zellen, deren Wände bald gefaltet, bald durch den Turgor stark angespannt sind, müssen wir demnach im Pflanzenreich als die spezifisch kontraktilen Zellen betrachten. Solche Zellen sind es, welche gewisse Pflanzen oder die Blätter derselben gegen das Licht, gegen die Sonne zu drehen vermögen oder umgekehrt, zur Erleichterung oder zur Erschwerung der Assimilation; welche luftführende Kanäle, Intercellularen je nach Bedarf öffnen oder schliessen, zur Erleichterung oder zur Erschwerung der Atmung; welche bei gewissen Pflanzenarten das Fortschleudern ihrer Samen vermitteln usf. Auf die Wirksamkeit solcher Zellen müssen wir auch die zum Teil offenkundigen Bewegungen zurückführen, die gereizte Pflanzen oder Pflanzenteile hie und da auszuführen im stande sind, Bewegungen, wie sie zb. die bekannte Sinnpflanze (Mimosa pudica) in so merkwürdiger Weise erkennen lässt (Fig. 6).

Nervöse Zellen sind in Pflanzen bis dahin, wie es scheint, nicht nachgewiesen worden. Dennoch lassen sich viele Pflanzen oder vielmehr, wenn nur passende Mittel angewandt werden, sogar alle Pflanzen reizen, und es werden die Reize zum mindesten auf kleinere Entfernungen fortgeleitet, weil alle Substanzen an sich schon die Fähigkeit der Reizleitung mehr oder weniger besitzen (S. 3). In einigen Fällen ist aber die Reizleitungsfähigkeit eine beträchtliche. Die Mimosa pudica lässt infolge von Erschütterungen oder von elektrischen Einwirkungen ihre Blätter fast plötzlich fallen bz. zusammenklappen (Fig. 6). Wird nur eine Stelle eines Blattes gereizt, so pflanzt sich der Reiz fort und deutlich sichtbar wird ein Blättchen nach dem anderen vom Reiz erreicht. Wir haben eine merkliche Reizleitung,

eine bestimmte Reizleitungsgeschwindigkeit. Ebenso werden sich in Pflanzen Reize übertragen von den Blättern auf die Wurzeln und umgekehrt, von verletzten Zellen auf sezernierende, auf verdauende Zellen usf. Die Reizleitung ist nur eine weit weniger intensive, eine weniger rasche bei Pflanzen als bei Tieren. Es scheint, dass die Reizleitung der Pflanzen namentlich durch die

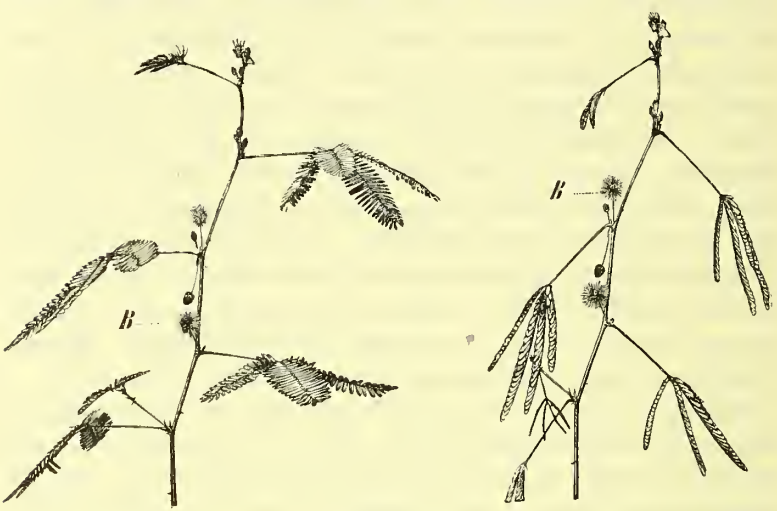


Fig. 6.
Mimosa pudica. Links ungereizt in der Tagesstellung, rechts durch Erschütterung gereizt, wodurch sich die Blätter zusammengefaltet und abwärts geschlagen haben. B. Blütenköpfchen. Nach Strasburger.

transportierenden Flüssigkeiten derselben zu stande kommt, dass also die Saftbahnen, zum Teil auch die Wasserbahnen die reizleitenden Organe der Pflanzen repräsentieren. Denn durch diese überall hingelangenden Flüssigkeiten wird wohl am günstigsten ein Reiz auf alle Pflanzenteile, auf alle Zellsubstanzen übertragen, welche durch denselben nötigenfalls zu erhöhter Thätigkeit angeregt werden; durch sie wird dann auch die Korrelation aller Pflanzenzellen untereinander aufrecht erhalten.

B. Fortpflanzung und Vererbung.

Fortpflanzung.

In mannigfaltigster Weise haben sich die Fortpflanzungszellen und die Fortpflanzungsorgane der Pflanzen, ihre Blüten,

differenziert. Wenn wir absehen vom Wachstum der Pflanzen durch neue aus Knospen hervorbrechende Sprosse, welcher Vorgang von manchen Botanikern als eine ungeschlechtliche Fortpflanzung bezeichnet wird, wenn wir also die Fortpflanzung nur auf neue schon bei Beginn ihrer ersten Entwicklung von den elterlichen getrennt lebende Individuen beziehen, so finden wir die ungeschlechtliche Fortpflanzung im allgemeinen nur bei den niederen Pflanzen, bei allen höher differenzierten dagegen die geschlechtliche. Indessen sind im Pflanzenreich die Zwitter stark vertreten, sei es dass eine und dieselbe Blüte sowohl die männlichen als auch die weiblichen Fortpflanzungszellen erzeugt, sei es dass doch, wenn letzteres nicht der Fall ist, wenigstens männliche und weibliche Blüten durch dasselbe Individuum hervorgebracht werden. Ungemein interessant ist die weitgehende morphologische und chemische Differenzierung der Blüten, wie sie beispielsweise entstanden ist dadurch, dass gewisse Insekten, die sich von Sekreten einer Pflanze ernähren (Blütenhonig), regelmässig die Bestäubung in derselben vornehmen. Merkwürdig ist auch die hochentwickelte Differenzierung der Samen, welche bald von harter, von dicker, bald von weicher, von dünner Schale umgeben sind, welche bald einfach zur Erde fallen, bald mit Gewalt von der Pflanze weit weggeschleudert, bald vermöge ihres geringen Gewichts oder vermöge geeigneter ausgestreckter Fäden oder Membranen vom Wind getragen und da oder dort abgelagert werden.

In den heissen, gemässigten und kalten Zonen unserer Erdoberfläche müssen die Pflanzenarten teils die übermässig heissen, die trockenen Perioden des Sommers, teils die übermässig kalten Perioden des Winters zu überdauern im stande sein. Soweit nicht die Pflanzen selber Schutzvorrichtungen besitzen, die sich eigens für diesen Bedarf im Lauf der Zeiten, Schritt haltend mit dem Entstehen solcher Witterungswechsel, herausdifferenziert haben, mussten sie zum mindesten eine regelmässig periodische, eine jährlich (oder halbjährlich) sich wiederholende Fortpflanzungsart sich angewöhnen. Diese Periodizität kommt uns durch das Erscheinen der Blüten und der daraus sich entwickelnden Früchte zum Bewusstsein.

Vererbung.

Die Eigenschaften der Pflanzen vererben sich auf ihre Nachkommen. Es erscheint im einzelnen Falle, bei höher entwickelten, stärker differenzierten Pflanzen sehr merkwürdig, dass sich alle Eigenschaften, dass sich die komplizierten Formen und inneren Einrichtungen solcher Pflanzen durch die oft sehr kleinen Samen vererben. Indessen muss man sich gegenwärtig halten, welch komplizierten Formen wir früher schon bei einzelnen kleinen uns noch völlig unsichtbaren Gebilden begegneten (I, 2. Kap. D). die teilweise den Bestand der Zellen ausmachen; wie kompliziert der Aufbau einer einzelnen Fistelle, ja sogar derjenige der einzelnen aus sehr vielen Atomen zusammengesetzten Molekel sein muss; und schon die äussere Form der Atome selber ist zweifellos im allgemeinen keine einfache. Setzen sich Atome an Atome, Molekeln an Molekeln, Fistellen an Fistellen in ganz bestimmt geregelter Weise an, so kann demnach der Bau eines uns sichtbaren Samens so überaus verwickelt sein, dass wir alle Feinheiten desselben sogar dann nicht zu überblicken vermöchten, wenn es uns gelänge, mittels starker Vergrösserungen noch die Atome selber sichtbar zu machen.

Einst war die irrtümliche Anschauung verbreitet, der Same enthalte die ganze Pflanze mit allen ihren Organen fertig ausgebildet, in stark verkleinerter Ausführung, und bei der Entwicklung desselben vergrössern sich einfach alle in ihm enthaltenen Teile (Präformation). Wir haben früher gezeigt, dass aus einer Substanz durch Assimilation eine ganz andere Substanz, dass insbesondere aus zwei Substanzen eine andere dritte, eine vierte usf. entstehen kann, wenn nur ein gewisses Gegenseitigkeitsverhältnis dieser Substanzen untereinander, eine bestimmte Korrelation unter denselben besteht (I, S. 75). In analoger Weise ist es durchaus nicht notwendig, dass die Fortpflanzungszelle alle Organe der Pflanze schon in fertig ausgebildetem Zustand verkleinert enthalte. Es genügt, dass die Organe in gewisser Weise in der Fortpflanzungszelle vorgebildet sind, so weit, dass eben durch die weitere Entwicklung bei der Ernährung der Zelle oder des Keimlings die Organe nachträglich fertig ausgebildet werden können (Epigenesis). Nur so viel ist schon in der Fortpflanzungszelle vorgebildet, als durchaus

nötig ist, um durch Entwicklung die fertige Pflanze eben noch entstehen zu lassen. Denn wäre in der Fortpflanzungszelle mehr als jener Teil vorgebildet, so müsste die erzeugende Pflanze durch Bildung dieses Ueberschusses einen unnötigen Energieaufwand leisten, was den bt. Individuen der Art zum Schaden gereichte, sie anderen Individuen gegenüber in Nachteil brächte. Andererseits würde dabei der Keimling unter Umständen länger als nötig von dem mitgegebenen Nahrungsvorrat zehren und seine Teile würden sich infolgedessen nicht so weit differenzieren, wie es für den späterhin von demselben zu bestehenden Kampf ums Dasein notwendig wäre. Die Thatsache dieses Zusammenhanges zwischen Pflanze und Fortpflanzungszelle verliert viel von ihrer Auffälligkeit, wenn wir uns erinnern, dass im Lauf ungeheurer Zeiträume immer Individuen und ihre Fortpflanzungszellen in regelmässigem Wechsel sich entwickelten. Eine Pflanzenart konnte nur dann bleibend zu weiterer Differenzierung gelangen, wenn auch ihre Fortpflanzungszelle in den Veränderungen ihrer Organoide, ihrer kleinsten Teilchen Schritt hielt mit der Pflanze. Ein einzelnes Individuum, welches sich weiter als die übrigen differenziert, ohne zugleich seiner Fortpflanzungszelle eine entsprechend höhere, weitergehende, den Verhältnissen besser angepasste Differenzierung zu verleihen. kann niemals zu einer Art mit weiter differenzierten Organen hinführen.

Vererbung erworbener Eigenschaften.

Wird eine Pflanze (oder ihr Same) so weit veränderten Lebensbedingungen ausgesetzt, dass dieselbe zwar noch existenzfähig ist, jedoch andere Nahrung aufnehmen muss, um existenzfähig zu bleiben, so verändert sie sich, sie nimmt andere Eigenschaften an. Wird nämlich die aufgenommene Nahrung verändert dadurch, dass gewisse bis dahin schwach vertretene verdauende Fistellenarten nun ganz vorwiegend ausgebildet werden und sich stark vermehren (S. 10), so wird die jeder einzelnen Zelle zugeführte Nahrung, es werden alle Zellsubstanzen mehr oder weniger verändert, und damit ändern sich also die Eigenschaften der Pflanze. Wie alle anderen Zellen, so müssen sich daher auch die Fortpflanzungszellen der Pflanze um einen entsprechen-

den Betrag ändern. Sie müssen hauptsächlich die nunmehr veränderte Nahrung durch ihre verdauenden Fistellen, durch ihre verdauenden Substanzen aufnehmen, dieselbe in andere Nahrung umwandeln können, die für ihre anderen Zellsubstanzen verdaulich ist. Die Fortpflanzungszellen passen sich also ihrerseits der ihnen neu zugeführten Nahrung an, und somit werden die aus ihnen entstehenden neuen Pflanzen gleichfalls der unter den neuen Lebensbedingungen ihnen zufliessenden Nahrung besser angepasst sein, als die elterliche Pflanze. In der neuen Umgebung hat die elterliche Pflanze neue Eigenschaften erworben, die sich auf die Nachkommen teilweise vererben.

Wenn beispielsweise eine Pflanze unter den neuen Lebensbedingungen gewisse Sekrete reichlicher abscheiden muss, als die früheren Generationen der Art; oder wenn sie stärkere Stützzellen erhalten muss, um den Winden Trotz bieten zu können; oder wenn vermöge stärkerer Wasserabgabe nach aussen durch die Blätter die transportierenden Zellen, die Wasserbahnen grössere Flüssigkeitsmengen rascher leiten müssen, als bis dahin für die Art nötig war; stets wird in diesen und in allen analogen Fällen die von der Pflanze aufgenommene Nahrung entsprechend verändert durch stärkeren Verbrauch der einen oder der anderen Nahrungsbestandteile, und mehr und mehr werden dann die genannten Zellen in der erforderlichen günstigen Weise abgeändert. Mit der zugeführten Gesamtnahrung ändern sich aber auch die Fortpflanzungszellen. Die aus ihnen entstehenden neuen Pflanzen nehmen die bei ihren Eltern neu aufgetretenen, die von den elterlichen Pflanzen erworbenen Eigenschaften teilweise an. Erworbene Eigenschaften können also nicht nur, sondern sie müssen — wenigstens zum Teil — auf die Nachkommen vererbt werden.

Regeneration.

Pflanzen haben in hervorragendem Masse die Fähigkeit, einzelne ihnen genommene Teile zu regenerieren. Je weniger differenziert ihre Zellen sind, um so leichter gelingt ihnen die Regeneration im allgemeinen. Doch sind auch ziemlich hoch entwickelte Pflanzen hie und da im stande, aus kleinsten ihrer Bestandteile sich zu regenerieren. Wird ein Begonienblatt in

kleinste Teilchen zerhackt, so entstehen aus diesen unter günstigen Umständen ebenso viele Keimlinge und aus ihnen wiederum fertige Pflanzen. Manche Pflanzen haben teilweise eine ungeschlechtliche Fortpflanzung durch Knollen, durch Zwiebeln usf. angenommen. Diese Fortpflanzungsart ist eine Art von Regeneration. Beispielsweise regeneriert sich ein kleines Stück einer Kartoffelknolle zu einer vollständigen Kartoffelpflanze, wenn dasselbe ein gesundes „Auge" besitzt. Bei dieser wie bei jeder anderen Regeneration von Belang müssen wir annehmen, eine bt. Zelle der Pflanze wachse, unter Verbrauch vorhandener Reservesubstanzen oder ganzer Reservezellen und erzeuge durch Teilung zunächst zwei ihr ähnliche oder doch wenig von ihr verschiedene Zellen (S. 46). Durch Differenzierung der jeweiligen Teilzellen entstehen indessen beim weiteren Wachsen regenerierter Teile allmählich diejenigen Unterschiede benachbarter Zellen, die dem Bestande der fertigen Pflanze wenn nicht ganz, so doch annähernd entsprechen. Nach und nach, durch immer fortgesetzte Zellteilung, entstehen immer grössere Unterschiede der Zellen, wenn die genügende Nahrung herbeigeschafft wird; es entstehen allmählich alle Organe, welche dem sich regenerierenden Pflanzenteil für eine vollständige Pflanze noch gefehlt haben. Aus dem Pflanzenteil entwickelt sich die vollständige Pflanze.

Ein abgeschnittener Zweig regeneriert sich in vielen Fällen zu einem vollständigen Individuum, auch bei hochentwickelten Pflanzen, wie zb. bei Weinreben. Dabei beobachten wir, dass es nicht in jedem Falle gleichgültig ist, in welcher Weise der abgeschnittene Zweig in die Erde gesteckt wird. Es macht sich vielmehr eine Polarität im Zweige geltend, die der Richtung von den Wurzeln zu den Blättern entspricht. Nur wenn der Zweig so in die Erde eingesteckt wird, dass die genannte Richtung in demselben aus der Erde heraus nach der Atmosphäre hinweist, entwickeln sich (abgesehen von einigen Ausnahmen) in ordnungsmässiger Weise unterhalb, in der Erde die Wurzeln; nur dann entstehen oben die Seitenzweige, die Blätter und Blüten. Regenerieren sich auch verkehrt in die Erde eingesteckte Zweige höher differenzierter Pflanzen, so ist doch ihre Entwicklung stets eine gestörte, keine normale.

Wir dürfen vielleicht aus dieser Erscheinung den Schluss

ziehen, dass die durchlässigen Zellmembranen, die in den Saftbahnen, in den Wasserbahnen vorhanden sind, nicht in beliebiger, sondern nur in einer bestimmten Richtung die eine oder die andere gelöste Substanz leicht hindurchtreten lassen, so dass also die Konzentrationsunterschiede in den Gefässen eines solchen Zweiges schon ganz bestimmt geregelte sind. Dadurch ist auch der Zufluss des Wassers, die Richtung des Wasserstromes in denselben geregelt, und es müssen die Wurzeln da entstehen, wo in der Umgebung befindliches Wasser eingeleitet werden muss, um ordnungsmässig von Stellen geringerer zu Stellen höherer Konzentration gelöster Substanzen zu fliessen. Wie alle diese Membranen, so werden auch die merkwürdigen, weit differenzierten Tüpfel, Hoftüpfel gewisse Substanzen, gewisse Molekelarten fast nur in einer Richtung hindurchtreten lassen. Sie bewirken dadurch eine Scheidung von Substanzen in den Pflanzenzellen, die für viele Pflanzen von der grössten Bedeutung sein muss.

Bei vielen Pflanzen ist die Regenerationsfähigkeit einzelner Teile derselben eine ungemein grosse. Durch einfache Reize werden fast an beliebigen Stellen Zellen dazu angeregt, neue Knospen zu erzeugen, „Adventivknospen", aus denen je nach ihrer Lage, ihrer Umgebung neue Zweige oder neue Wurzeln hervorbrechen. Aus denselben Zellen können sich Blätter, Blüten, Dornen, Ranken oder neue Sprosse entwickeln, je nach den gesamten Lebensbedingungen, denen diese Zellen ausgesetzt werden. Durch äussere Einflüsse, durch passende Reizungen ist man in einzelnen Fällen dazu gelangt, je nach Wunsch an bestimmten Stellen von Pflanzen Blätter oder Blüten oder neue Sprosse entstehen zu lassen, auch wenn diese Teile ordnungsmässig an den bt. Stellen sonst niemals vorkommen würden.

Solche Neubildungen entstehen ganz ähnlich, wie regenerierte Teile an verwundeten Stellen. Durch jene Reize werden vermöge des vorhandenen Reservematerials Zellteilungen hervorgerufen, die anfänglich zu fast gleichen Nachbarzellen führen. Je weiter aber die Zellteilung und Zellvermehrung fortschreitet, um so weiter geht die Differenzierung der Zellen. Jede Zelle einer Pflanze hat nur dann ordnungsmässigen Bestand, ist gewissermassen nur dann in stabilem Verband mit ihren Nachbarzellen, wenn die letzteren diejenige Beschaffenheit besitzen,

wie sie dem normalen Bau ihrer Pflanze entspricht. Folglich schreitet die Differenzierung der Zellen immer weiter fort, bis schliesslich jede Zelle die normalerweise ihr ringsum zukommenden Nachbarzellen hat. Daher kann die Regeneration, wenn sie überhaupt in dem bt. Fall möglich ist, nur in der Weise erfolgen, dass durch sie die normale Pflanze gebildet wird. Jedem pflanzlichen Wesen entspricht gleichsam ein bestimmter Gleichgewichtszustand, dem dasselbe stets zustrebt. Abnorme Neubildungen entstehen nur, wenn die gesamten Lebensbedingungen in abnormer Weise geändert worden sind.

C. *Litteratur.

(EH.) E. Haeckel, Natürliche Schöpfungsgeschichte, 8. Aufl. Berlin 1889. (9. Aufl. Berlin 1898.)
(OH_1.) O. Hertwig, Die Zelle und die Gewebe I, Jena 1893.
(OH_2.) O. Hertwig, Die Zelle und die Gewebe II, Jena 1898.
(OH_3.) O. Hertwig, Zeit- und Streitfragen der Biologie I, Jena 1894.
(WP.) W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie I, 2. Aufl. Leipzig 1897.
(SN.) E. Strasburger, F. Noll, H. Schenck, A. F. W. Schimper, Lehrbuch der Botanik, 2. Aufl. Jena 1895 (3. Aufl. Jena 1898).
(MV.) M. Verworn, Allgemeine Physiologie, 2. Aufl. Jena 1897.
(AW.) A. Weismann, Ueber die Vererbung, Jena 1883.
(AW_1.) A. Weismann, Allmacht der Naturzüchtung, Jena 1893.
(AW_2.) A. Weismann, Aeussere Einflüsse als Entwicklungsreize, Jena 1894.
(AW_6.) A. Weismann, Ueber die Dauer des Lebens, Jena 1882.
(AW_8.) A. Weismann, Botanische Beweise für eine Vererbung erworbener Eigenschaften, Biolog. Centralblatt 8. Nr. 3 u. 4. 1888.

Der Fall muss eingetreten sein, dass mehrere einzellige sich teilende Individuen sich nicht sofort trennten, sondern gemeinsam weiterlebten (AW. 9). Es entstand dadurch der Zellenstaat. Bei linien- oder flächenartigen Zellenanlagerungen ist eine Arbeitsteilung, eine Differenzierung noch nicht nötig, eine Zelle ist wie die andere, so bei den Algen, Conferven bz. Ulvaceen (MV. 582), vorausgesetzt, dass die Entwicklung in vollkommen homogenem Medium erfolgt. Erst bei räumlicher Zusammenlagerung der Zellen ist die Differenzierung unbedingt erforderlich; denn aus räumlichen Gründen sind die Verhältnisse für Oberflächen- und Aussenzellen ganz andere als für innere Zellen (SN. 132 [128]). Es erfolgen die Zellteilungen besonders

energisch teils am Scheitelpunkt der Sprosse oder doch sehr nahe demselben, teils sehr nahe den Wurzelspitzen. Die Stellen der stärksten Zellteilungen sind die Vegetationspunkte (SN. 124 [120]). Es ist dies annähernd zugleich der Ort der stärksten Krümmung (SN. 220 [219]). Hier kommt die Einreihung neuer Fistellen durch Intussusception am leichtesten zu stande. Sachs sah ein ganzes System confocaler Parabeln um den Vegetationspunkt (OH_1. 179). Hier sind die Zellen noch am wenigsten differenziert; es können Blätter, Blüten. Sprosse oder Nebenwurzeln, Wurzelhaare usf. aus ihnen entstehen, je nach den gesamten Ernährungsbedingungen, unter deren Einfluss sich die Zellen weiter teilen und differenzieren (SN. 131 [127]). Schon die Differenzierung im Protoplasma der Zellen ist eine ganz verschiedene in verschiedenen Pflanzen, sie ist viel weiter vorgerückt in höheren Pflanzen als in niederen (SN. 41). Jeder Pflanzenart entspricht notwendig eine besondere Spezies des Genus Protoplast (des lebendigen Elementarorganismus der Pflanze) (WP. 35). Wir müssen die Möglichkeit zugeben, dass zum Charakter einer Spezies auch besondere Eiweissverbindungen gehören, indes dürfen wir solches nicht voraussetzen, denn im Organismus kommt es nicht minder auf die Zusammenfügung der Bausteine an (WP. 3). Die Organe und Strukturelemente des Protoplasten erreichen aber sicher nur zum Teil die zu optischer Wahrnehmbarkeit notwendige Grösse . . . Ja es ist nicht unmöglich, dass es ganze Organismen oder Entwicklungsstadien von Organismen giebt, die unserem Auge durch die besten Mikroskope nicht wahrnehmbar sind (WP. 36).

Die Stützsubstanz in den Stützzellen höher entwickelter Bäume kann eine überaus feste und harte sein. Nach Schwendeners genauen Untersuchungen kommt die Tragfähigkeit des bt. Skelettgewebes derjenigen des besten Schmiedeisens gleich, erreicht sogar bei einzelnen Pflanzen diejenige des gehämmerten Stahls; dabei ist aber die Dehnbarkeit doch etwa 10—15mal grösser als diejenige des Schmiedeisens. Derselbe Forscher zeigt auch, dass die Anordnung der Skelettgewebe im Pflanzenkörper ihrer besonderen Aufgabe aufs beste entspricht; diese Anordnung ist eine andere, wenn das Gewebe Zug oder Druck, wenn es Biegung, Torsion usf. Widerstand leisten soll (SN. 140—142 [137—138]). Werden wachsende Pflanzenteile durch Gewichte

belastet, so wird die Tragfähigkeit derselben von Tag zu Tag grösser, nach experimentellen Untersuchungen Heglers unter Pfeffers Leitung. Solche mechanische Einwirkungen verursachen eine Zunahme dieser Gebilde, eine Vermehrung in der Zahl der Elemente, eine Verdickung ihrer Wandungen (OH_2. 100).

Die Stützzellen der Pflanzen sind grösstenteils zugleich Wasserbahnen derselben. Sie verlieren ihr Protoplasma, verholzen. Protoplasmafreie lange Zellen dienen der Wasserleitung, protoplasmahaltige Zellen der Leitung von Nahrungsstoffen (SN. 86). Ein fortwährender Wasserdurchfluss durch die Pflanze ist notwendig, infolge der Verdunstung, namentlich in den Blättern; ausserdem nehmen die wachsenden Zellen immer Wasser auf, teils als solches, teils als Wasserstoff und Sauerstoff (SN. 150 [147]). Diesen in den verholzten Zellen stattfindenden Wasserdurchfluss nennt man Transpirationsstrom. Bei grossen Bäumen dürfte der Transpirationsstrom an besonders heissen Tagen 400 kg überschreiten, nach v. Höhnel, F. Haberlandt (WP. 233). Der Transpirationsstrom ist nur auf die Holzgefässe und hauptsächlich auf die jüngsten Jahresringe beschränkt (SN. 157 [154]).

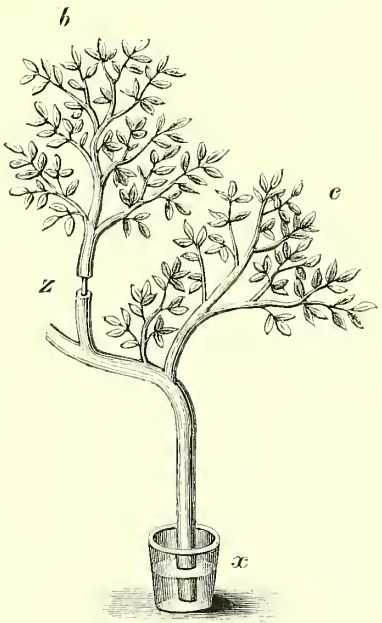


Fig. 7.
Hales Versuch über das Saftsteigen im Holz. Bei Z wurde der Holzkörper von der Rinde entblösst; trotzdem bleiben die Blätter des Zweiges b ebenso frisch wie die des unverletzten Zweiges c; x ein Gefäss mit Wasser. Facsimile aus Hales: Vegetable Statics 1727. Aus Strasburger.

Entfernt man an einer Stelle die Rinde bis auf den dünnen Holzkörper von einem abgeschnittenen Zweig, welcher in Wasser steht, so bleiben die Blätter ebenso lange frisch an dem verletzten, wie an anderen Teilen des Zweiges (Versuch von Hales. Fig. 7) (SN. 156 [153]). Die Geschwindigkeit dieses Transpirationsstromes kann 1—6 m pro Stunde betragen (SN. 157 [154]) (WP. 202). In jedem Falle handelt es sich bei dem Wasser-

transport um ein Nachsaugen von Wasser nach den Verbrauchsorten. Die durch den entstehenden negativen Druck gehobene Quecksilbersäule überschreitet insbesondere bei Krautpflanzen gewöhnlich nicht 10—30 cm, weil dann häufig Luft durch die Zweige gesaugt wird. Wo solches erschwert ist, kommen auch höhere Wirkungen zu stande und schon Th. Hartig sah das Quecksilber bis 76 cm steigen, als er Manometer mit Hilfe von Bohrlöchern bis in das Splintholz von Bäumen eingesetzt hatte (WP. 193).

Bei einzelnen Pflanzen giebt es Zellen oder aus solchen entstandene Hohlräume, welche die Rolle von Wasserreservoiren übernehmen, welche Wasser aufnehmen bei Wasserüberfluss, welche dasselbe wieder abgeben an wasserarme Zellen bei Wassermangel (SN. 163 [161]). Die wasserleitenden Zellen bleiben eng, die als Wasserreservoire dienenden Zellen weiten sich aus (SN. 110). Die Wasserleitung wird von trachealen Geweben übernommen, während holzparenchymatische Gewebe der Leitung und Aufspeicherung der Assimilate dienen (SN. 109 [107]). Erst in höher differenzierten Pflanzen entstehen eigentliche Gefässe für die Wasserleitung, die Tracheen (SN. 73 [74—75]). Sich berührende tracheale Elemente kommunizieren stets, durch Hoftüpfel oder durch wirkliche Oeffnungen (Fig. 8) (SN. 110). Die Hoftüpfel scheinen, soweit die Erfahrung reicht, wie Klappenventile zu wirken (SN. 66 [53]). Für die Austauschvorgänge zwischen verschiedenen Pflanzenteilen ist natürlich stets die Qualität der Zellwandung bedeutungsvoll und vielfach werden die Tüpfel bevorzugte Durchgangsstellen vorstellen. Doch ist nicht zu vergessen, dass auch die übrige Wandung durchlässig ist und vermöge der ansehnlichen Grösse der wirksamen Fläche gelegentlich in Summa mehr leisten mag, als die Tüpfel. (Nach Russow, Schwendener, Strasburger.) (WP. 198.)

Die Länge der Tracheen, sowie der übrigen Gefässe, welche in höheren Pflanzen noch entstehen können, beträgt gewöhnlich nicht mehr als 10 cm, selten 1 m oder einige Meter, wie bei der Eiche (SN. 73 [75]) (WP. 184). Die in den Blättern durch Synthese entstandenen Stoffe werden innerhalb der Baststränge abwärts geleitet (SN. 113 [111]) (WP. 285). Es ist wahrscheinlich, dass sich in der lebensthätigen Pflanze, analog wie im Tiere, fortwährend ein Eiweissumsatz vollzieht (WP. 380). Der

Eiweissleitung scheinen die Siebröhren zu dienen, welche Eiweissschleim, winzige Stärkekörnchen und Oeltröpfchen befördern (SN. 172 [169]). Es bewegen sich sehr gewöhnlich in derselben Bahn verschiedene Körper in gerade entgegengesetzter Richtung (WP. 584). Die Milchröhren, welche im Körper höher organisierter Pflanzen die bedeutendste Länge erreichen, gehen aus Zellen hervor, die von der Keimpflanze an sich entwickeln,

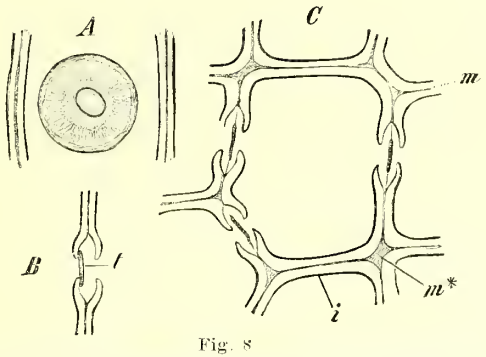


Fig. 8
Aus dem Holze der Kiefer (Pinus silvestris). A Hoftüpfel in Flächenansicht, B ein Hoftüpfel in tangentialem Längsschnitt, t der Torus, C Querschnitt durch eine Tracheïde, m Mittellamelle, m* ein Zwickel in dieser, i das Grenzhäutchen. Vergr. 510. Nach Strasburger.

weiter wachsen, fort und fort sich verzweigen und in alle Glieder eindringen (SN. 71). Dieselben dienen offenbar nicht dem Nahrungstransporte, sondern wohl nur dem Schutz der Pflanze gegen äussere Angriffe, beispielsweise auch dem Wundverschluss (SN. 175 [173]). In der That gewinnt durch Kautschuk, Harze, ätherische Oele, Alkaloide, Gerbstoffe usf. der aus den Milchröhren hervordringende Milchsaft die Befähigung, einen Wundschutz zu schaffen oder durch seine giftigen Eigenschaften Insekten abzuhalten, nach de Vries, Ludwig, Zander usf. (WP. 594). Vermöge ihres Baues und ihrer Anordnung sind die Milchröhren zur Fortleitung von Stoffen sehr geeignet und Massenströmungen werden auch in den Milchröhren der intakten Pflanze durch verschiedene Ursachen veranlasst, nach Schwendener (WP. 594). Das parenchymatische Gewebe dient vor allen Dingen der Leitung der Kohlehydrate und der Aufnahme der Nebenprodukte (SN. 111 [107]). Die höchste Verzweigung der Gefässe findet man in den höchst entwickelten Pflanzen, in den netzadrigen Blättern der Dicotylen (SN. 90 [90]).

Das Grundgewebesystem hat für die Ernährung der Pflanze und für die Speicherung der Nahrungsstoffe zu sorgen; die Gefässbündel dienen der Wasserleitung und der Festigung der Pflanze, die Hautgewebe dem Schutze derselben (SN. 91 [90]). Für den Abschluss nach aussen gegen den Wasseraustritt und den Lufteintritt verkorken die äussersten Schichten (SN. 69, 118 [56]). Die Zellen stehen in engem Verkehr zu einander, wobei Stoffwanderung und Stoffaustausch in ausgedehntem Masse vorkommt (SN. 138 [134]). Die Assimilate werden von Zelle zu Zelle übertragen, bis die Mesophyllscheiden erreicht sind (SN. 98 [96]). Die letzteren leiten gelöste Kohlehydrate aus dem Blatt zurück in den Stengel; sie verlaufen neben den wasser- bz. den säfteführenden Gefässen, welche die Eiweissstoffe aus den Blättern ableiten (SN. 96, 97 [95]). Durch Markstrahlen werden die im Bast abwärts geführten Erzeugnisse der Blätter in die Cambiumschichten und in den Holzkörper der Pflanze geleitet (SN. 112 [110]). Besonders grosse Markstrahlen sind bei der Eiche bekannt, bis 1 mm breit und 1 dm hoch; sonst sind dieselben oft nur mikroskopisch klein (SN. 114 [111]).

Ein Durchlassstreifen erleichtert den Austausch von Wasser und Nahrungsstoffen zwischen den Gefässbündeln und dem Grundgewebe (SN. 93 [93]). Durch Auseinanderweichen von Zellen, durch Zerreissung oder Auflösung derselben entstehen grössere Kammern und Gänge. Sie werden dann meist säfteführend oder lufthaltig (SN. 75 [76]). Durchlasszellen bleiben dennoch bestehen, wenn auch die übrigen Zellen durch Verdickung sich schliessen (SN. 95 [94]). Erst in der inneren Rinde dickerer Pflanzenteile treten die Intercellularen auf, welche Luft führen (SN. 96 [95]), wie solche zb. die Markstrahlen begleiten (SN. 113 [110]). In den Rinden sind gleichfalls feine Oeffnungen für den Gasaustausch vorhanden, die Lenticellen. Dieselben sind fast überall anzutreffen, sonst ist die Rinde der Pflanze nicht ein zusammenhängendes Ganzes (SN. 119 [116]). Denn der Gasaustausch, die Atmung, ist für alle lebenden Pflanzenzellen ein unbedingtes Erfordernis, auch wenn keine Assimilation erfolgt (SN. 185 [183]). Insbesondere in höheren Pflanzen bilden sich eigene Atemöffnungen, meist elliptische Spaltöffnungen aus (Fig. 9), welche verschliessbar sind (SN. 79, 80 [80]). In grossen luftführenden Intercellularräumen von Wasserpflanzen entsteht eine eigene innere

Atmosphäre (SN. 190 [189]). Die Intercellularräume für die Luftatmung streifen jede Zelle mit Protoplasmainhalt fast unmittelbar (SN. 190 [188]). Die Luftatmung wird unterstützt durch den Wechsel der Temperaturen, des Drucks, der Feuchtigkeit in der Atmosphäre.

Feste Reservestoffe müssen zu wirklicher Nahrungsaufnahme wieder gelöst werden. Proteinstoffe zerfallen zu löslichen Kör-

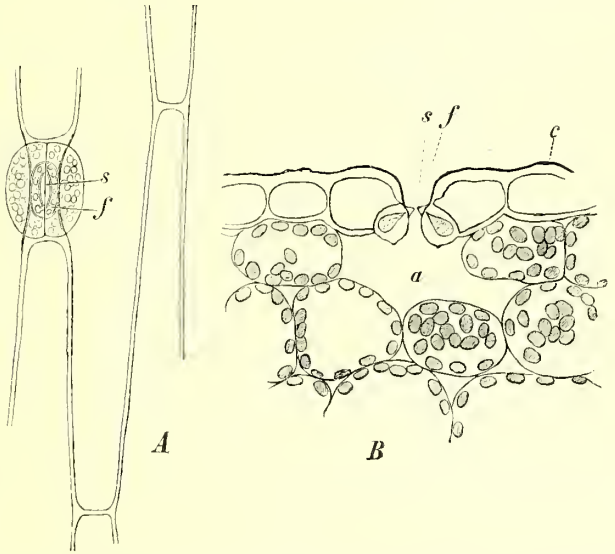


Fig. 9.

Epidermis der Blattunterseite von Iris florentina. A von aussen, B im Querschnitt, f Grübchen, s Spalt, c Cuticula, a Atemhöhle. Vergr. 240. Nach Strasburger.

pern, bevor sie von Zelle zu Zelle wandern, setzen sich erst nachher wieder zusammen zu Eiweiss (SN. 172 [170]). Stärke wird in Glykose verwandelt, welche aus den Blättern abgeführt wird, aufwärts in die jungen Triebe oder abwärts gegen die Wurzeln. Unterwegs bilden sich aus der Glykose oft wieder kleine Stärkekörnchen (SN. 173 [171]). Diese Umwandlung der Stärke in Glykose gelingt jeder Pflanze leicht. Haben die Blätter ihre grösste Ausdehnung erreicht und hört das Wachstum auf, so nimmt die Speicherung der Assimilate am stärksten zu. Reservestoffe werden für das nächste Jahr gebildet, bz. für die Nachkommenschaft (SN. 174 [171]). Bevor die Blätter abgeworfen werden, wandert der Zellinhalt teilweise aus

denselben aus und die Blätter verlieren zuletzt ihre Farbe (SN. 50).

Niedere Pflanzen und untergetauchte Wasserpflanzen können das Wasser an ihrer ganzen Oberfläche aufnehmen. Ihre ganze Oberfläche ist demzufolge mit verdauenden Zellen besetzt, weil mit dem Wasser auch Nahrungsstoffe aufgenommen werden. Bei Pflanzen, die sich auf dem festen Erdboden entwickeln, ist es das Wurzelsystem, welches dem Boden das passende, kapillar in demselben festgehaltene Nährwasser entreisst, welches dabei die unbrauchbaren Stoffe ausscheidet (SN. 151 [148]). Ganz besonders sind es die Wurzelhaare (Fig. 10), welche in wirksamster Weise dem Boden alle Flüssigkeit zu entziehen vermögen (SN. 152 [149]). Die Blätter sorgen für die Ernährung der Pflanze (SN. 24 [24]), durch Aufnahme von Kohlenstoff aus der Kohlensäure der Luft (SN. 165 [163]), durch Assimilation passender Stoffe. Nur im Sonnenlicht wird bei Anwesenheit von Chlorophyll Kohlensäure gespalten, durch die Gefässe wird Wasser aufgenommen, und aus beiden wird durch Synthese Stärke gebildet. Dies ist nach Sachs der erste und leicht nachweisbare Assimilationsvorgang (MV. 163). Zur Assimilation ist die Luftatmung erforderlich, weil sie zum Leben nötig ist. Demnach müssen die Blätter ganz besonders für die Luftatmung eingerichtet sein. In der That befinden sich unten im Blatte Schwammparenchymzellen, welche den Gasaustausch besorgen, mit entsprechenden Spaltöffnungen (Fig. 9, S. 73), während oben im Blatte die chlorophyllreichen Palissadenzellen auf das Licht reagieren und die Assimilation übernehmen (SN. 98 [96]). Eine Stunde Assimilation liefert nach Boussingault beim Lorbeer ungefähr so viel neues organisches Material, als durch 30 Stunden Atmung aufgebraucht wird (SN. 185 [184]). Die in den Sprossen fliessenden Säfte sind etwas verschieden, wenn nur Reservestoffe aufgebraucht, wenn noch wenige Blätter oder wenn schon viele Blätter wirksam sind und assimilieren. Dementsprechend entstehen in abwechselnder Folge an Sprossen neue Blätter, Ranken oder Dornen, Blüten und Früchte, letztere namentlich bei reichlich entwickelten und kräftig assimilierenden Blättern. Denn es ist einleuchtend, dass die für die Samen nötigen Reservestoffe nur entwickelt werden bei grösster Leistungsfähigkeit der verdauenden Zellen. Bei manchen Pflanzen werden

poröse Luftwurzeln ausgebildet, welche Wasser oder Luft aufnehmen (SN. 86 [85]). Die Mangrovebäume besitzen merkwürdige spargelähnliche Luftwurzeln (SN. 36 [36]).

Die Wurzeln, insbesondere die Wurzelhaare scheiden Kohlensäure und eine stärkere Säure aus, welche sonst unlösliche Mineral-

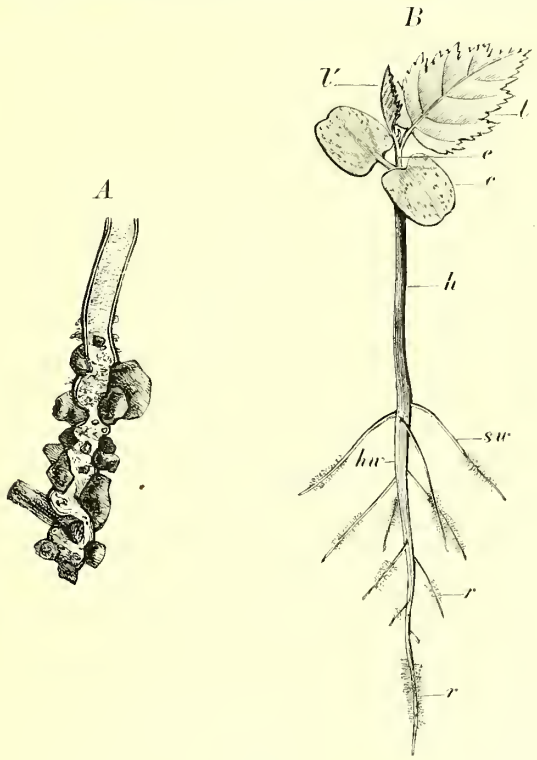


Fig. 10.

A Die Spitze eines Wurzelhaars, mit Bodenteilchen verwachsen. Vergr. ca. 240.
B Keimpflanze der Weissbuche, Carpinus Betulus. Bei r nahe den Wurzelspitzen die Region der Wurzelhaare. Nach Strasburger.

stoffe lokal auflöst (SN. 154 [151]). Wenn nach den Untersuchungen Czapeks die Wurzeln der Pflanzen zumeist andere freie Säuren (als Kohlensäure) nicht oder doch nicht in merklicher Weise sezernieren, so scheinen sie doch sehr gewöhnlich saures Kaliumphosphat auszuscheiden, welches ebenfalls direkt oder infolge von Umsetzungen mit Chloriden usf. lösende Aktionen hervorbringt. Verschiedene Pilze vermögen thatsächlich organische Säuren sehr energisch zu sezernieren (WP. 150).

Haare und Emergenzen vermitteln häufig die Sekretion, sie werden dann als Drüsen bezeichnet (SN. 84 [84]). Die Wirkung der Brennhaare (Brennesseln) ist eine nicht unbeträchtliche (SN. 83 [83]). Gewisse Epidermiszellen pressen Wachs aus; andere geben Sekrete ab, namentlich in und bei Blüten, um Insekten anzulocken, welche zur Befruchtung behilflich sein sollen (SN. 78, 79 [79]). Es kann sogar flüssiges Wasser aus Blättern

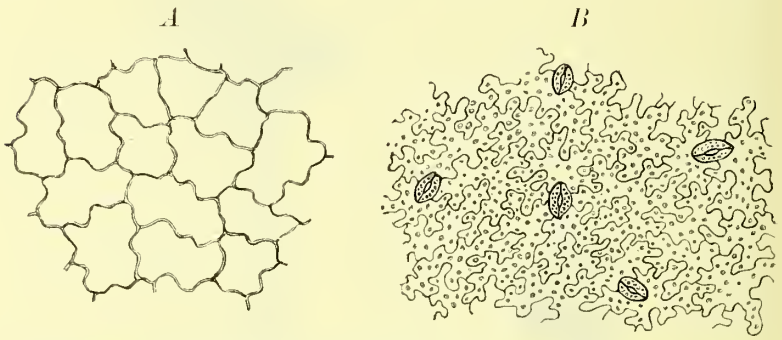


Fig. 11.

A Flächenansicht der Epidermis von der Blattoberseite von Mercurialis perennis. Vergr. 300. B Epidermis mit Spaltöffnungen von der Blattunterseite von Impatiens parviflora. Vergr. 160. Nach Strasburger.

und in Kelchen ausgeschieden werden. In diesem ausgeschiedenen Wasser spielen bei Insectivoren die darin enthaltenen Salze eine wichtige Rolle, weil sie die Verdauung ermöglichen (SN. 162, 163 [159, 160]).

Kontraktile Vakuolen, wie wir denselben bei Protisten begegneten, finden sich auch bei niederen Pflanzen, in den Schwärmsporen zahlreicher Algen (SN. 43 [43]). Die lebenden Pflanzenzellen sind kontraktil, sie werden durch aufgenommene Flüssigkeit aufgetrieben, fallen zusammen bei Flüssigkeitsaustritt. Die wellige Oberflächengestalt von Epidermiszellen erleichtert ihre Expansionsfähigkeit (Fig. 11). In Epidermiszellen, welche als Wasserbehälter dienen, können die faltigen Wände blasebalgartig wirken, bei reichlicher Wasserzufuhr die Ausdehnung der Zellen erlauben, bei verminderter sie zusammenziehen (SN. 79 [80]). Die Kraft, welche die Zellwände auseinandertreibt, rührt her vom Turgor. Dieselbe wird durch die Diosmose bewirkt (SN. 137 [134]) (WP. 117). Der Turgor kann in der Zuckerrübe 15—21 Atmosphären erreichen oder überschreiten, nach

de Vries, Copeland (WP. 121). Die in der Vakuolenflüssigkeit gelösten und diosmierenden Stoffe erzeugen unter allen Umständen nach physikalischen Gesetzen den entsprechenden osmotischen Druck, welcher in den hautumkleideten turgescenten Zellen sehr gewöhnlich 5—10 Atmosphären erreicht (WP. 116). Die allgemeinen Gesetze der Diosmose sind auch für den Stoffaustausch des Organismus massgebend, und jeder Körper, welcher unter den gegebenen Bedingungen zu diosmieren vermag, findet demgemäss seinen Weg in die Zelle und in den Protoplasten, gleichviel ob es sich um einen nötigen, unnötigen oder schädlichen Stoff handelt (WP. 86). Schon in Hinsicht auf die Bedeutung der Qualität der Zellhaut (ebenso einer Flüssigkeitslamelle) ist es selbstverständlich, dass die Diosmose nicht allein von der Grösse der gelösten Molekeln abhängt, die allerdings ein mitentscheidender Faktor ist (WP. 88, 601). Zur Erreichung der diosmotischen Erfolge reicht theoretisch eine einfache oder doppelte Molekelschicht aus (WP. 93). Die diosmotischen Eigenschaften von Zellwandungen, Protoplasten usf. sind spezifisch verschieden; verkorkte und cuticularisierte Zellhäute lassen zb. Wasser vielfach nur schwierig oder kaum passieren. Diese Eigenschaft erlangen die fraglichen Zellwände namentlich durch mehr oder weniger vollständige Imbibition mit fettartigen, wachsartigen und harzartigen Stoffen (WP. 75). Andererseits sprechen die Erfahrungen dafür, dass es sich in den verkorkten und cuticularisierten Membranen nicht nur um solche Imprägnation, sondern auch um besondere Verbindungen von Cellulosearten handelt (WP. 481). Die Quantität und die Qualität der im Nährwasser in den Wasserbahnen gelösten Stoffe wirkt auf die Turgorkraft (SN. 160 [157]). Die Turgoränderung öffnet und schliesst nach Mohl (WP. 173) und Schwendener die Luftspalten, durch Beeinflussung der Schliesszellen (Fig. 12). Durch stärkeren Turgor werden diese aufgetrieben und die Luftspalten also geöffnet. Durch Turgorschwankungen werden Blätter gedreht (SN. 236 [235]). Die Blätter vieler Pflanzen, wie zb. diejenigen der Mimosa pudica (Fig. 13), zeigen Schlafbewegungen, welche sich durch Turgorschwankungen in einfacher Weise erklären lassen (SN. 239 [238]). Andere Bewegungen kommen durch die Gewebespannung zu stande, zb. Krümmungen, wie sie beim Löwenzahn bekannt sind; das Mark sucht länger, die äusseren

Gewebe suchen kürzer zu werden. Infolge des verschiedenen Wachstums verschiedener Gewebearten müssen solche Spannungen auftreten (SN. 139, 140 [136]). In den meisten Fällen werden Gewebespannungen mit Turgorkräften zugleich ihren Einfluss ausüben.

Alle die wunderbaren Korrelationserfolge, die auch zwischen den entferntesten Gliedern eines Baumes zur Geltung kommen, geben Zeugnis für weitgehende Reizübertragungen (WP. 13).

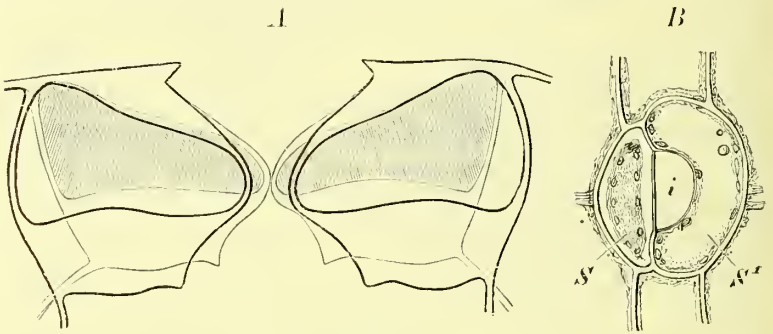


Fig. 12.

A Spaltöffnung von Helleborus spec. im Querschnitt. Die dicken Linien zeigen die Form der Schliesszellen bei geöffnetem Spalt, die feineren Linien bei geschlossenem Spalt. Nach Schwendener. Der Hohlraum der Zellen im geschlossenen Zustand wurde hier schraffiert; er ist sichtlich kleiner als bei geöffneten Schliesszellen. B Spaltöffnung vom Perigonblatt der Galtonia candicans. S Schliesszelle bei aufgehobenem Turgor mit gerader Spaltwand, S¹ stark turgescierende Schliesszelle mit gewölbter Spaltwand, den Spalt i halbseitig öffnend. Nach Leitgeb.

Thatsächlich bietet jedes Kapitel der Physiologie Belege für auffällige gegenseitige Beeinflussung der Glieder eines Pflanzenkörpers (WP. 22).

Wirksame Reize rühren von der Schwerkraft her und sorgen dafür, dass die Wurzeln gegen die Erde wachsen, die Stengel von ihr sich entfernen (MV. 451). Utricularia (eine Wasserpflanze) hat in dieser Beziehung eine ausserordentliche Empfindlichkeit (AW_2. 4). Auch Reizwirkungen durch Berührung sind bei Pflanzen sehr verbreitet, bei Schlingpflanzen und Rankengewächsen; sie bewirken die Krümmungen der Ranken; die Wirkung ist aber eine sehr komplizierte (MV. 447). Es wirken nämlich die Reize bei Berührungen nach Pfeffer nur durch Rauhigkeiten, also durch ungleiche Beanspruchung benachbarter Zellen, nicht durch beliebig starken hydrostatischen Druck, nicht durch Quecksilberdruck (SN. 233 [232]). Mechanische Reizung

bewirkt Erregungserscheinungen bei der Sinnpflanze, Mimosa pudica (Fig. 13) (MV. 385). Wärmereize sind eine der Hauptursachen allen Wachstums. Bei tiefen Temperaturen schlafen

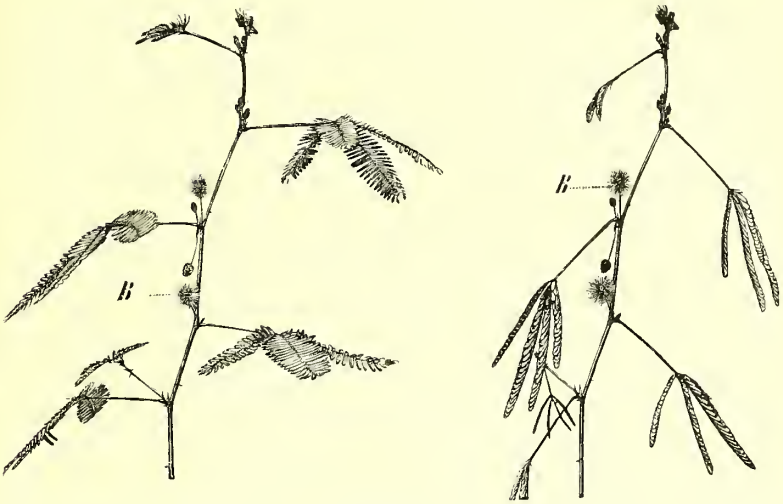


Fig. 13.
Mimosa pudica. Links ungereizt in der Tagesstellung, rechts durch Erschütterung gereizt, wodurch sich die Blätter zusammengefaltet und abwärts geschlagen haben. B Blütenköpfchen. Nach Strasburger.

die Pflanzen scheinbar, oder sie erfrieren. Bei zu hoher Temperatur gehen sie gleichfalls zu Grunde. Nur mittlere Temperaturen wirken als günstige Reize.

Der Reiz, welcher durch Licht auf Pflanzen ausgeübt wird, ist nach Verworn zuerst als Reiz erkannt worden, weil seine Wirkung in der offenkundigen Drehung der Blätter und der Stengel nach der Sonne hin besteht (MV. 452). Blaue und violette Lichtstrahlen sind in dieser Beziehung wirksamer, als die roten und gelben. Je nach dem Alter der Pflanze kann dasselbe Licht bald Krümmungen im einen, bald solche im entgegengesetzten Sinne an ihr hervorrufen (SN. 221 [219, 220]). Die Tag- und Nachtstellung vieler Blätter ist gleichfalls auf optische Reize zurückzuführen. Allerdings bleibt sie manchmal periodisch bestehen, auch wenn man künstlich konstante Verhältnisse schafft. Dann erscheint aber oft Starre und demzufolge Krankheit (SN. 237, 238 [236, 237]). Licht verlangsamt im allgemeinen das Wachstum; das Nachtwachstum ist stärker als das Tagwachstum (SN. 203 [201, 202]). Im Licht assimiliert

die Pflanze, erzeugt Reservestoffe. Hat sie genügendes Licht, so ist ein Wachstum nicht nötig, ihre Teile brauchen nicht um ihre Existenz zu kämpfen. Nachts aber, oder während der Dunkelheit sucht die Pflanze das Licht, das sie zum Leben unbedingt nötig hat; sie verbraucht ihre Reservestoffe, wandelt sie in Zellsubstanzen um, damit sie dem Licht näher kommen kann. Diese Eigenschaft, nach dem Licht zu streben, müssen die Pflanzen im Kampf ums Dasein erworben haben, weil sie Licht nötig haben, weil ihr Chlorophyll ohne Licht nicht assimilieren kann.

Die Mimosa pudica wird durch Induktionsschläge ebenso gereizt, wie durch Erschütterungen (MV. 131). Dieselbe kann aber narkotisiert werden; nach Claude Bernard erlischt ihre Reizbarkeit, wenn sie in eine Aetheratmosphäre gebracht wird (OH_1. 92). Die Reize können in Pflanzen fortgeleitet werden (SN. 218 [217]). Sehr interessante Reizerscheinungen und Reizübertragungen beobachtet man an den gefiederten, fingerförmigen Blättern von Mimosa pudica. Reizt man die Endfiederchen eines solchen Blattes erschütterungsfrei, etwa durch Anbrennen mittels eines Streichholzes, so klappen diese plötzlich zusammen; ihnen folgen die übrigen Fiederpaare der Reihe nach bis zum Fingeransatz (Fig. 13). Der Reiz wird also von der Spitze zur Basis geleitet. Es wird aber die Reizerscheinung auch auf die anderen Finger übertragen, so dass in diesen fortan der Reiz von der Basis zur Spitze fortschreitet. Einige Zeit nachher bewegt sich der Hauptstiel rasch abwärts. Aber noch weiter, bis zu 50 cm Entfernung kann der Reiz geleitet werden. Die Fortleitung des Reizes scheint nach Haberlandt vom Inhalt schleimführender, im Siebteil verlaufender Zellschläuche vermittelt zu werden (SN. 239 [238]).

Fermente, besonders die Diastase, wandeln in den Pflanzen unlösliche in lösliche organische Stoffe um. Die Diastase ist das verdauende Enzym bei Pflanzen (MV. 160). Die Diastase behält ihre Wirksamkeit, wenn sie künstlich aus dem Pflanzenkörper herausgenommen, gefällt, getrocknet, nachher wieder in Wasser gelöst wird. Solche diastatische Fermente sind auch vorhanden in keimenden, stärkereichen Samen, in Blättern, jungen Trieben, ferner an Orten, wo keine Stärkeauflösung möglich ist (SN. 172, 173 [170]). Viele Bakterien und Pilze zersetzen durch

fermentative Wirkungen ihren eigenen organischen Nährboden (SN. 180 [178]), durch Gärung und Fäulnis zerstören sie denselben; andererseits besitzen sie aber auch die Fähigkeit, durch invertierende Fermente einen nicht geeigneten Nährboden für sich brauchbar zu machen (SN. 180, 181 [178, 179]).

Bei den Flechten findet eine merkwürdige Synbiose statt, nach De Bary, Schwendener und anderen. Die Flechten sind Algen und Pilze, welche einander zum Leben gegenseitig

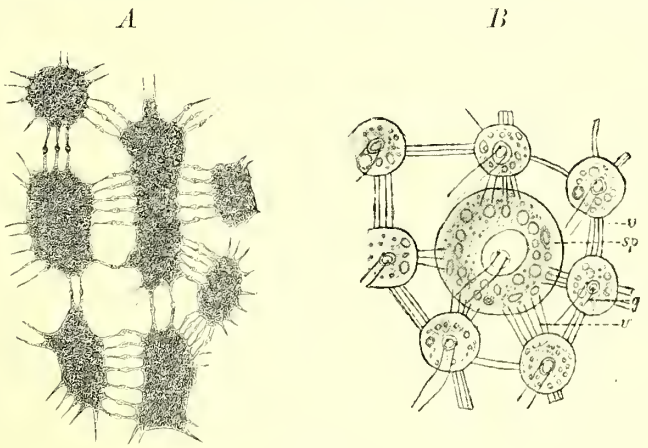


Fig. 14.

A Junge Rindenzellen von Nerium Oleander im Längsschnitt, nach Behandlung mit Chlorzinkjod und Methylenblau, um die cytoplasmatischen Verbindungen zwischen den Zellen zu zeigen. Nach Kienitz-Gerloff. Vergr. 900.
B Spore aus einer jungen, noch nicht ausgeschlüpften Kugel von Volvox aureus, mit den Nachbarzellen durch Plasmafäden verbunden. sp Spore, g Geissel, v Verbindungsfasern. Nach Arthur Meyer.

nötig haben (SN. 181 [179]). Zahlreiche Infusorien und Radiolarien besitzen Algenzellen als Synbionten; sie liefern ihnen den Sauerstoff (MV. 87). Höhere Pflanzen gehen an ihren Wurzeln mit Spaltpilzen eine Synbiose ein, welche einen gegenseitigen Nahrungsaustausch zur Folge hat (SN. 179 [177]).

Bei Pflanzen (und Tieren) stehen die Zellen mancher Gewebe durch Protoplasmafäden in Verbindung (AW_1. 84). Solche Verbindungsfäden treten durch die Membranen benachbarter Zellen hindurch und übertragen vermutlich Reize (Fig. 14) (SN. 74) (OH_2. 34). Durch Zellverbindungen dieser Art entstanden also Zellenstaaten, Individuen, ganze Pflanzen, zuerst die Thallophyten, dann die Cormophyten. Bei manchen höheren Thallophyten zeigt sich aber bereits eine ziemlich weitgehende

Differenzierung des Thallus: aussen sind assimilierende, innen aufspeichernde Zellen, sogar siebröhrenähnliche Elemente und wirkliche Siebröhren finden sich bei gewissen Arten (SN. 288 [287]).

Zuerst entstanden Pflanzen, welche nur im Wasser leben, dann amphibische Pflanzen, welche in Wasser und Luft leben können (SN. 205 [203]), und endlich Pflanzen, welche auf dem festen Erdboden ihre Existenz finden. Diese Pflanzen brauchen Luft und Licht und breiten sich in der Luft aus, sie brauchen Nahrung aus der Erde und breiten sich in dieser aus (OH_3. 106). Infolge dieses Ausbreitungsbestrebens verzweigen sich sowohl Wurzeln als Sprosse, bald durch Gabelung, bald durch Bildung neuer Vegetationspunkte (SN. 13 [13]). An den Hauptwurzeln entstehen Seitenwurzeln. Der Vegetationspunkt der Wurzel ist gewöhnlich durch eine eigene Wurzelhaube geschützt. In einiger Entfernung vom Wurzelende entstehen die feinen Wurzelhaare (Fig. 10), welche nur von kurzer Dauer sind, bald wieder absterben (SN. 34 [34]). Die Sprosse entwickeln sich von ihren Vegetationspunkten aus, treiben Blätter, eventuell Dornen, Ranken usf., dann Blüten und Früchte, sowie Knospen für neue Sprosse. Die Streckung der Länge ist nicht am Vegetationspunkt ein Maximum, sondern weiter unten (SN. 16 [16]).

Der Ort und die Formgestaltung neuer Anlagen, von Blättern, Dornen usf. sind abhängig von dem Raum, der bei der ursprünglichen Entwicklung in der Knospe (im Embryonalstadium) zur Verfügung stand. Durch mechanische Drucke kann die Knospenentwicklung beeinflusst werden. Die Aenderungen sind plötzliche, es erfolgt eine rasche Vergrösserung des Vegetationskegels bei der Blütenbildung (SN. 31 [29]). Neue Sprosse entstehen meistens in wesentlich grösserem Abstande vom Vegetationszentrum, als die Anlage neuer Blätter (SN. 15 [15]). Blätter und Knospen können beide in derselben Vegetationsperiode auswachsen (SN. 17). Indessen besteht gewissermassen anfangs ein Kampf ums Dasein zwischen den Blättern und den in ihren Achselhöhlen entstehenden Knospen. Das Blatt, welches selber assimiliert, ist anfangs günstiger gestellt als die Knospe; es nimmt dieser gewissermassen die von den Wurzeln herbeifliessende wässerige Lösung von Nährsalzen weg. Ist das Blatt ausgewachsen, so assimiliert es für die ganze Pflanze. Auch die Knospe entwickelt sich dann stärker. Diese erhält wohl ihre

Hauptentwicklung, wenn der Zellinhalt vor dem Abfallen oder Verdorren des Blattes aus demselben zum Teil auswandert. Ist das Blatt im nächsten Frühjahr entfernt, so strömt die von den Wurzeln herbeigeleitete Nährflüssigkeit nur noch in die Knospen und diese entwickeln sich zu neuen Sprossen. Besonders leicht strömt die Nährflüssigkeit in die Knospen an der Basis der Sprosse, weil sie von den Wurzeln aus mit geringerem Widerstand für die Nährflüssigkeit erreichbar sind, als die Sprossscheitel. Sind sehr viele Blätter an einem Spross entwickelt und assimilieren dieselben energisch genug, so entstehen Blüten und Früchte statt neuer Blätter oder Sprosse, infolge der stärkeren Konzentration der pflanzlichen Nahrungssäfte.

Das Wachstum des Blattes ist ein begrenztes, aber Sprosse können unbegrenzt wachsen (SN. 23 [23]). Es giebt Bäume, welche tausende von Jahren alt werden (SN. 207 [205]) (AW_6. 3). Bei unseren Bäumen sind nur Sprosse höherer Ordnung fähig, Blüten zu treiben (SN. 22 [22]). Oft entstehen neue Sprosse, Adventivsprosse, oder neue Wurzeln, Adventivwurzeln, an Stellen, welche von den Vegetationspunkten ungewöhnlich weit entfernt sind (SN. 15, 35 [16, 35]). Bei solchen Adventivbildungen haben äussere Einwirkungen einen grossen Einfluss: Schwerkraft, Feuchtigkeit, Berührung, Licht usf. (SN. 193 [192]).

Eine bedeutende Wirkung hat der Wechsel des Nahrungszuflusses bei Tag und Nacht, im Sommer und Winter. Es lassen sich Perioden des Wurzeldrucks nachweisen. Täglich ist die Wasserlieferung in bestimmten Stunden eine grössere, in anderen Stunden eine geringere (SN. 155 [152]). In Baumstämmen bilden sich Jahresringe. Das Frühlingsholz wird weitlumig, für starke Wasserzufuhr, das Herbstholz englumig, für grössere Festigkeit des Stammes (SN. 104 [102]). Die durch den Wechsel von Tag und Nacht hervorgerufene Periodizität im Wachstum der Pflanzen bleibt oft lange Zeit, auch bei völliger Finsternis und bei konstanter Temperatur, bestehen, sogar in verkehrtem Sinne (SN. 206 [204]). Viele von unseren dem gemässigten Klima angepassten Pflanzen behalten ihre Periodizität bei, auch wenn sie in tropische Gegenden verpflanzt werden, in welchen solche Perioden nicht mehr nötig wären (SN. 206 [204, 205]). Sonnenblumen, dekapitiert und ins Dunkle gestellt, zeigen periodische Schwankungen im Saftaustritt; dieser ist nachmittags am stärksten,

morgens früh am schwächsten (AW_8. 79). Das periodische Wachstum der Pflanzen bei Licht und Dunkelheit, das periodische Oeffnen und Schliessen der Blätter von Mimosa pudica verschwinden nicht sofort, wenn die Pflanzen in konstante Finsternis gebracht werden (AW_8. 98). Um den Winter besser überdauern zu können, bedecken sich Knospen mit dicken Schuppen (SN. 17 [17]). Durch passende Hüllen schützen sich viele Samen. Es giebt Flechten und Moose, welche gerade im Winter wachsen (SN. 207 [205]). Andererseits erhalten viele Samen geeignete Hüllen, damit sie in Trockenperioden nicht zu Grunde gehen. In anderen Fällen sind es die Pflanzenindividuen selber, welche sich gegen die Ausdünstung genügend zu schützen vermögen. Die in amerikanischen Wüsten vorkommende Selaginella kann völlig eingetrocknet jahrelang liegen, ohne ihre Lebensfähigkeit einzubüssen (MV. 228). Unter den einheimischen Pflanzen sind viele Moose und Flechten bekannt, die ohne Schaden austrocknen, beim Benetzen mit Wasser, also auch durch Regen und Tau aber sofort wieder turgescent werden und damit die durch das Austrocknen unterbrochene Lebensthätigkeit von neuem beginnen (WP. 140).

Im Pflanzenreich begegnet man selten der Parthenogenesis, meist kommt eine geschlechtliche Befruchtung zu stande. Für Chara crinita ist die Parthenogenesis sichergestellt (SN. 246 [245]). Die Laminarien vermehren sich durch ungeschlechtliche Schwärmsporen, die einen roten Augenpunkt, ein Chromatophor und zwei seitlich inserierte Cilien aufweisen (SN. 289 [287]). Die Schwärmsporen bewegen sich infolge von Reizwirkungen. Viele derselben suchen das Licht auf. Nach Pfeffer beeinflusst die ungleiche Verteilung gelöster, fester oder gasförmiger Stoffe die Bewegung der Schwärmer (SN. 211 [210]). Die Gameten und besonders die geschlechtlich differenzierten Schwärmsporen müssen zum Teil irgend eine Substanz nach aussen abgeben, womit sie auf andere analoge Individuen einen Reiz ausüben, so dass ihre Kopulation zu stande kommen kann (Fig. 15) (vgl. SN. 280 [279]).

Dagegen findet man vielfach ungeschlechtliche Fortpflanzung durch Brutknospen, welche abgeworfen werden und neue Pflanzen entstehen lassen, durch Wurzelstöcke, Rhizome, durch Zwiebeln mit infolge von Nahrungsaufnahme fleischig angeschwollenen Blättern, durch Knollen mit angeschwollenen Achsen (SN. 17,

18 [17, 18]). Manche Pflanzen entwickeln sich aus einfachen Stecklingen, welche die ihnen fehlenden Teile, Wurzeln, Zweige, Blätter usf. durch Regeneration neu erzeugen. Begonienblätter, in Stücke zerschnitten, lassen unter Umständen aus jedem Stück eine neue Pflanze entstehen (SN. 196 [194]).

Wegen der grossen Vorteile der digenen (sexuellen) vor der monogenen Fortpflanzungsart (SN. 242 [242]) hat die erstere die letztere mehr und mehr verdrängt. Ein Spirogyrafaden kann umbiegen, so dass an ihm männliche und weibliche Zellen auftreten und sich befruchten (OH$_1$. 227). Es erfolgte der Ueber-

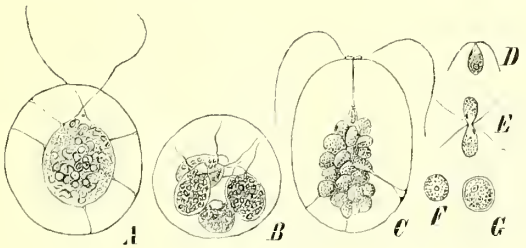


Fig. 15.

A—B Sphaerella pluvialis. A schwärmende Zelle. B Bildung der Schwärmsporen. Vergr. 360. Nach Strasburger. C—G Sphaerella Bütschli. C Gametenbildung. Vergr. 100. D Gamet. E Kopulation zweier Gameten. F, G Zygoten. Vergr. 800. Nach Blochmann

gang von der Isogamie zu der Oogamie, von der Gleichheit aller Sporen zu der Ungleichheit derselben (SN. 228 [276]. Diese Ungleichheit ist begreiflicherweise schon ausgebildet, lange bevor wir Unterschiede zu erkennen vermögen. Die Sporen differenzieren sich in geschlechtliche Zellen oder Gebilde (SN. 280 [279]). Bei den Konjugaten vereinigen sich zwei Zellen zu einer Zygospore (SN. 275 [274]). Anscheinend handelt es sich hier bei Cryptogamen noch um eine Kopulation zweier gleich gestalteten Sexualzellen zu einer, der Zygospore; in Wirklichkeit sind aber jene auch schon differenziert in Spermatozoide und in Oosphären, welche nach ihrer Vereinigung die Oospore bilden (vgl. SN. 264 [263]). Die Planogameten, nackte Cilienprotoplasten, vereinigen sich zum Befruchtungsakt; bei manchen Gattungen kommen auch schon in zwei verschiedenartige Gebilde differenzierte Zellen vor (Oogamie), ausserdem aber noch Schwärmsporen, welche in Sporangien erzeugt werden (SN. 278 [276]). Bei Oedogonium geht das Spermatozoid in das Oogonium, verschmilzt

mit der Eizelle, und es bilden sich daraus 4 grosse Schwärmsporen, ähnlich wie bei Bulbochaete (Fig. 16) (SN. 283 [282]). Die Befruchtung wird hauptsächlich durch chemische Reize herbeigeführt. Von der ruhenden Eizelle oder vom weiblichen Sexualorgan geht zumeist die Anziehung auf die beweglichen männlichen Geschlechtszellen aus (SN. 247 [246]). Es giebt zb. Aepfelsäure die Wegleitung für die Spermatozoide der Farne (SN. 357 [356]), Rohrzucker diejenige für Laubmoose (SN. 336 [334]). Durch diese chemischen Substanzen werden die bt. Spermatozoiden angezogen (SN. 211 [210]). Bei der Befruchtung der höheren Cryptogamen und der Phanerogamen werden die Mem-

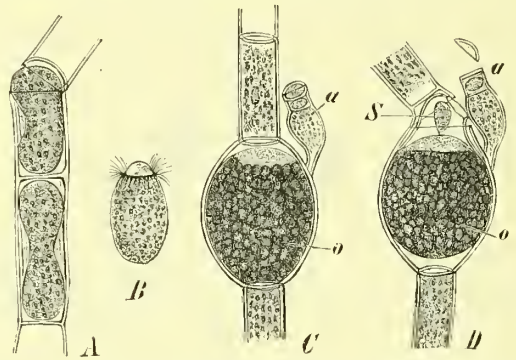


Fig. 16.

A, B Oedogonium. A Schwärmsporen beim Ausschlüpfen. B freie Schwärmspore. C, D Oed. ciliatum. C vor der Befruchtung, D während der Befruchtung, o Oogonien, a Zwergmännchen, S Spermatozoid. Vergr. 340. Nach Pringsheim.

branen der weiblichen Eizellen durchbohrt (SN. 247 [246]). Fig. 17 stellt den Befruchtungsvorgang bei Phanerogamen dar, A bei Picea vulgaris, B bei Polygonum Convolvulus (SN. 379, 380, 397 [378, 380, 397]). Oft findet man an Spermatozoiden, welche doch vollständig in das Pflanzenreich gerechnet werden müssen, einen roten Augenfleck. Viele Spermatozoiden finden die Eizelle und heften sich an dieselbe, aber nur eines derselben befruchtet sie (SN. 291 [289]). Gelangen Pollenkörner auf die Narbe des Griffels, so entwickeln sie Pollenschläuche (Fig. 17), welche in das Innere des Griffels hineinwachsen, durch einen luftführenden mittleren Kanal oder durch sehr lockeres Parenchym in diesem Gange (SN. 392 [391]). Auch in Zuckerwasser oder in Fruchtsaft hinein können Pollenkörner Schläuche treiben (SN. 376 [374]).

Die Inzucht ist im allgemeinen von Nachteil (SN. 249 [249]). In einzelnen Pflanzen wirkt die Selbstbefruchtung wie Gift (SN. 250 [249]). Zur Verhütung dieses Vorganges ist bei vielen Pflanzen die Dichogamie ausgebildet, die ungleichzeitige Geschlechtsreife (SN. 251 [250]). Andere Pflanzen, namentlich

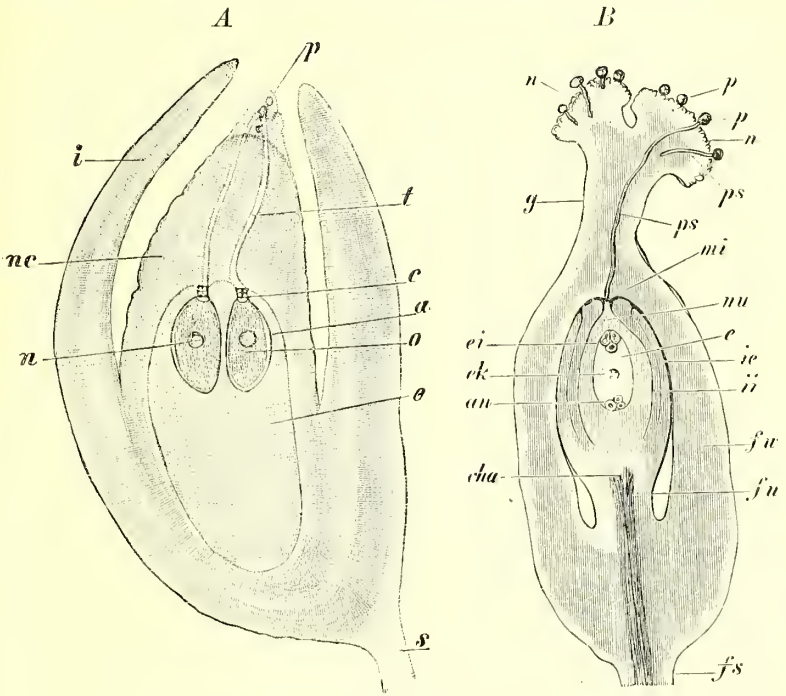


Fig. 17.

A Medianer Längsschnitt durch die empfängnisreife Samenknospe von Picea vulgaris, e Embryosack mit Endosperm erfüllt, a ein Archegonium und zwar der Bauchteil, c der Halsteil desselben, n der Eikern, nc der Nucellus, p Pollenkörner auf und in der Knospenwarze, t Pollenschläuche, i Integument, s der Samenflügel. B Fruchtknoten von Polygonum Convolvulus während der Befruchtung. fs stielartige Basis desselben, fu Funiculus, cha Chalaza, nu Nucellus, mi Mikropyle, ii inneres, ie äusseres Integument, e Embryosack, ek Kern desselben, ei Eiapparat, an Antipoden, g Griffel, n Narbe, p Pollenkörner, ps Pollenschläuche. Nach Strasburger.

solche, deren Blüten für die Befruchtung an bestimmte Tiere sich gewöhnt haben (SN. 249 [248]), sind so eingerichtet, dass die Pollenkörner ihrer Staubfäden mit dem Griffel normalerweise nicht zur Berührung kommen. Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung entwickeln sich die Fruchtbehälter nur nach der Befruchtung, sonst werden sie abgestossen (SN. 194 (192, 193]).

Bemerkenswert ist auch die Anpassung von Pflanzen an äussere Lebensbedingungen durch die Art ihrer Fortpflanzung.

Von Sporangien mit vielen Sporen finden wir Uebergänge zu Einzelsporen, welche sich abschnüren (Fig. 18) (SN. 299 [297]). Parasiten können ausser ihrer Hauptfruktifikation in Sporangien auch noch Conidien und Chlamydosporen bilden, je nach der Nährsubstanz bz. der Nährpflanze (SN. 306 [304]). Bei Pilzen können viele verschiedene Sporenarten aufeinander folgen (SN. 320 [319]).

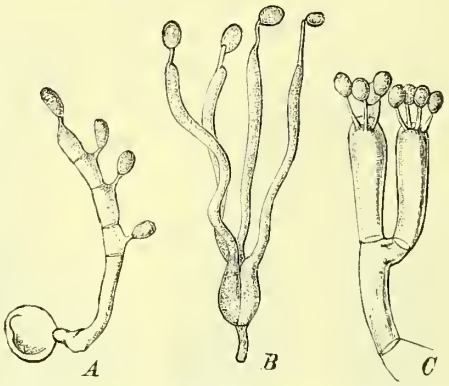


Fig. 18.
Basidien. A einer Uredinee (Endophyllum Euphorbiae silvaticae). Nach Tulasne. B einer Tremellinee (Tremella lutescens), Vergr. 450. Nach Brefeld. C eines Hymenomyceten (Tomentella granulata). Vergr. 350. Nach Brefeld. Aus v. Tavel, Pilze.

Die Nährpflanze, der Wirt, liefert ja auch andere Säfte zu jeder Jahreszeit, er erkrankt, stirbt ab, seine Säfte, seine Reservestoffe werden in verschiedener Reihenfolge aufgezehrt.

Analogen Ursachen ist der im Pflanzenreich zum Teil stark ausgebildete Generationswechsel zuzuschreiben. Oft werden viele Generationen vegetativ fortgepflanzt, dann erfolgt plötzlich sexuelle Fortpflanzung. Dennoch ist es möglich, dass die im einen oder im anderen Fall entstandenen Nachkommen einander ähnlich sind (SN. 254 [254]). Besonders bei Thallophyten kommt ein mehrfacher Generationswechsel vor (SN. 38). Einen vollständigen Generationswechsel mit totaler Verschiedenheit der bt. Generationen findet man bei den Farnen (SN. [254]). Gewisse junge Farnpflanzen entstehen auf den Blättern der Mutterpflanzen (SN. 244 [244]). Aus einem Prothallium bildet sich selten mehr als ein neues Einzelwesen (SN. 255 [255]). Die ungeschlechtliche Generation bleibt bei Moosen auf der geschlechtlichen sitzen, entwickelt sich auf ihr und lebt von ihr (SN. 338 [336]).

Oft treten durch Variation, Missbildung oder Bastardierung

entstandene neue Pflanzenformen auf (SN. 240 [239]). Die Bastarde zeigen vielfach veränderte Fruchtbarkeit, grössere Neigung zur Varietätenbildung, üppigere Gestaltsentfaltung. Bei ihrer weiteren Fortpflanzung schlagen sie leicht zurück in eine der ursprünglichen Arten (SN. 254 [253]).

Das Protoplasma heilt nach Klebs Wunden in leicht verletzten Pflanzen (OH_1. 258). Nach Nägeli kann das Bedürfnis, Wurzeln, Stengel, Blätter, wenn solche abgeschnitten worden sind, wieder zu ersetzen, zu regenerieren, als Reiz wirken (OH_3. 115). Die Verwundung des Pflanzenkörpers regt oft die Bildung von Adventivknospen an; aus gefällten Bäumen, abgeschnittenen Zweigen entwickeln sich neue Sprosse (SN. 15 [16]). Derselbe Vegetationspunkt kann sich zum Blatt, Zweig, zur Wurzel oder Blüte entwickeln, je nachdem die Bedingungen seiner Entwicklung geändert werden (SN. 131 [127]). Durch künstlichen Eingriff können wir die Anlage eines Dornes in die eines langen Laubsprosses verwandeln (OH_3. 160). Bei Neubildungen an verstümmelten Pflanzen entstehen vorzugsweise diejenigen Organe neu, welche der Pflanze genommen worden sind (SN. 194 [192]). Die Polarität von Stengeln und Wurzeln bezüglich der Richtung, in welcher sich bei Regeneration Wurzeln oder Sprosse bilden, ist keine so energische bei Thallophyten als bei Cormophyten (SN. 195 [194]). Vermutlich spielen hier die die Gefässe scheidenden Membranen, welche für gewisse von den Blättern herbeigeleitete Assimilate weniger durchlässig sind, als für die wässerigen Nährsalzlösungen, eine wichtige Rolle (S. 54). Ueberaus leicht regenerieren sich Parasiten schon aus ihren Saugwurzeln allein (SN. 37 [37]). Adventivbildungen sind zweifellos wenigstens teilweise als Regenerationen aufzufassen.

Parasitische Pflanzen haben das Chlorophyll, welches ihnen die grüne Farbe verleiht, nicht nötig, weil sie nicht mit Hülfe desselben im Licht assimilieren müssen (SN. 20 [21]). Denn sie benutzen eben die schon assimilierten Stoffe anderer Pflanzen. Oft treiben sie ihre Saugwurzeln tief in die Saftbahnen ihrer Nährpflanze hinein. Die Pilze ernähren sich, wie die Tiere, aus organischen Substanzen (EH. 468 [470]); indessen haben die meisten derselben noch Wasserzufuhr aus dem Boden, wie die übrigen Pflanzen. Demzufolge entsprechen sie ihrer Bauart nach den Pflanzen und werden also zu diesen gerechnet.

3. Kapitel.

Tiere.

Es liegt in der Natur der Sache begründet, dass das Tierreich vom Pflanzenreich nicht scharf abgegrenzt werden kann, worauf wir schon früher aufmerksam gemacht haben. Ein Verbindungsglied zwischen Pflanzen- und Tierreich bilden gewissermassen die parasitischen Pflanzen, wenn auch im allgemeinen diesen Pflanzengruppen keine besonders hohe Organisation, keine sehr weitgehende Entwicklung zugeschrieben werden kann. Denn die Tiere selber sind sozusagen auch Parasiten der Pflanzen. Sie nähren sich direkt oder indirekt von Pflanzen, nämlich von organischer Materie, die zuvor von Pflanzen aus unorganischer Materie durch Synthese aufgebaut worden ist.

Bewegungsfähigkeit.

Einen grossen Vorteil haben aber die meisten Tierarten dadurch vor den Pflanzenarten voraus, dass sie frei von Ort zu Ort sich bewegen können, wie übrigens auch zahlreiche Protisten. Dagegen sind nur wenige Pflanzen freier Bewegungen fähig. Diese haben es in der Regel auch nicht nötig. Das Wasser und die Mineralsalze, deren die Pflanzen zu ihrem Aufbau bedürfen, finden dieselben fast überall, allerdings da oder dort in ungleichen Quantitäten. Kohlensäure dringt gleichfalls überall hin, wo Luft oder Wasser sich befindet. Findet also eine Pflanze das nötige Licht, die passende Temperatur an irgend einer Stelle der Erdoberfläche, so findet sie in der Regel auch die übrigen wichtigen Lebensbedingungen, namentlich aber die wichtigste

Nahrung immerfort an dieser Stelle, und Ortsveränderungen sind für sie kein notwendiges Erfordernis.

Parasiten sind in dieser Beziehung weniger günstig ausgestattet, wenn sie keine freien Ortsbewegungen auszuführen vermögen. Denn ihre pflanzliche Nahrung wird schliesslich von ihnen aufgebraucht. Das parasitische Individuum muss in diesem Fall selber zu Grunde gehen, wenn es nicht zu wandern im stande ist. Daher müssen parasitische Pflanzen sich selber fortbewegen können, wenn sie nicht vor ihrem Absterben für genügende Fortpflanzung sorgen. Sie müssen Samen erzeugen, welche an günstigere Stellen ausgeschleudert oder von anderen Lebewesen oder von Wasser oder Wind dorthin getragen werden. Alle diese Fälle sind in der Natur vertreten. Indessen sind doch Tiere, die eine willkürliche Bewegungsfähigkeit besitzen, viel günstiger als parasitische Pflanzen gestellt, weil sie sich zur Nahrung hinbewegen, weil sie Nahrung aufsuchen können. Dementsprechend haben sich Tiere stärker entwickelt, weiter differenziert. Die ungünstiger veranlagten Gruppen der parasitischen Pflanzen konnten sich dagegen nur in verhältnismässig wenig zahlreichen Arten erhalten, so dass unter den höher entwickelten Individuen Tier- und Pflanzenreich kaum noch zusammenzuhängen scheinen.

A. Differenzierungen.

Differenzierung der Zellen; Gewebe und Organe.

Tierische Zellenstaaten, Tierindividuen sind ganz analog entstanden wie pflanzliche, durch Aneinanderhaften der Zellen nach der Zellteilung. Dabei mussten sich die Zellen differenzieren, hier wie dort, in Stützzellen, transportierende, verdauende, sezernierende, kontraktile, nervöse Zellen, in Fortpflanzungszellen usf., und aus zahlreichen gleichartigen Zellen setzen sich die entsprechenden Gewebe und Organe zusammen. Durch Aufnahme organischer Nahrung haben sich die Tiere eine bedeutende Arbeit erspart, die Umwandlung unorganischer Materie in organische durch Synthese. Nur eine geringe Zahl von Zellen des tierischen Zellenstaates muss infolge dieser Vereinfachung und Erleichterung ihrer Assimilation zur eigentlichen

Verdauung herangezogen werden. Die übrigen Zellen desselben können sich in anderer Weise differenzieren. Besonders wichtig ist für tierische Zellenstaaten das Suchen und Finden, das Ergreifen der Nahrung. Ueberaus wichtig sind also Sinnesorgane, welche die passende Nahrung suchen und entdecken, Bewegungsorgane, welche das Suchen unterstützen, solche, welche die gefundene Nahrung ergreifen und eventuell für die Verdauung vorbereiten, mechanisch zerkleinern. Weil der verdauenden Zellen verhältnismässig wenige sind in Tieren, muss das Transportsystem der Nahrung im Inneren des Körpers, müssen die nahrungtransportierenden Organe eine entsprechend starke Ausbildung erfahren.

Die aus kontraktilen Zellen aufgebauten Bewegungsorgane und die aus nervösen Zellen aufgebauten Sinnesorgane sind, wenigstens in ihrer einfachsten Ausführung, mehr oder weniger an die Oberfläche der Tiere gebunden. Bei den verdauenden Zellen, bei den Verdauungsorganen ist dies nicht nötig; im Gegenteil. Hatte ein Zellenstaat die freie Bewegungsfähigkeit erlangt, so musste es für ihn von Nachteil sein, wenn eine gefundene Nahrung nur an einigen seiner Oberflächenzellen verdaut wurde; denn bei seiner Weiterbewegung konnte er diese Nahrung wieder verlieren. Es war dagegen für ihn von Vorteil, wenn seine Innenzellen durch eine passende Oeffnung, durch einen Mund mit der äusseren Umgebung kommunizierten, wenn er also die gefundene Nahrung in sein Inneres aufnehmen, sie während seiner Ortsbewegungen mit sich herumtragen, sie in aller Gemächlichkeit verdauen konnte. Wie schon viele Infusorien mit Bewegungsorganoiden und mit einem Munde ausgestattet sind, so entwickelten sich auch unter den Zellenstaaten, welche geformte organische Nahrung aufnahmen, Formen mit Mund. Diese Formen waren im Vorteil gegen andere Formen ohne Mund, sie passten sich den immer verwickelter sich gestaltenden Lebensbedingungen immer wieder aufs beste und leichteste an, und so entstanden allmählich die höchst entwickelten Tiere der Gegenwart. Vielleicht hat gerade wegen der Wichtigkeit der Verdauung durch innere Zellen und der Nahrungsaufnahme durch einen Mund bei den Tieren E. Haeckel in seiner „Allgemeinen Schöpfungsgeschichte“ die Gastrula als eine Urform der ganzen Tierwelt bezeichnet.

a) Stützorgane.

Im Tiere, welches im allgemeinen viel mannigfaltigeren Beanspruchungen von aussen ausgesetzt ist als die Pflanze, vermöge seiner freien willkürlichen Ortsbewegung, sind die Stützzellen entsprechend anders verteilt, so wie sie eben der grösseren Festigkeit gemäss dem Tier am nützlichsten sind. Es ist längst erwiesen, wie günstig für die zu übertragende Biegung die Knochenbälkchen in tierischen Knochen angeordnet sind; wie Röhrenknochen für sehr verschiedenartige mechanische Beanspruchungen, wie Knochenplatten hauptsächlich für Druckaufnahme über grössere Flächen, spongiöse (schwammige) Knochen für die Stütze weicher Massen aufs vorteilhafteste im Tierkörper zur Ausbildung gelangt sind; wie dieser andererseits Zugbänder besitzt, zur passendsten Uebertragung der Zugspannungen von den Muskeln auf die Knochen usf. Alle diese stützenden Organe sind nicht plötzlich vollendet bei einer neuen Art aufgetreten, wie die Art selber nicht plötzlich entstanden ist. Vielmehr haben sich auch bei den tierischen Wesen die Stützzellen aus den ursprünglich gleichartigen Zellen durch Differenzierung erst entwickelt, und durch passende Vereinigung, Aneinanderlagerung der Stützzellen entstanden im Lauf der Zeiten die passenden Stützorgane, indem stets das Ungünstige im Wettbewerb mit dem günstiger Veranlagten unterlag und vom Schauplatz verschwand.

b) Transportierende Organe.

Die transportierenden Zellen haben bei höheren Tieren analog wie bei höher entwickelten Pflanzen dadurch eine weitergehende Differenzierung erfahren, dass bei der Zusammenlagerung derselben teils Intercellularräume, teils wirkliche Gefässe entstanden sind, die fast zu allen Zellen des ganzen Zellenstaates sich unmittelbar hinziehen. In diesen Räumen, welche vielfach eine besondere Kontraktilität erhalten haben, zum leichteren Transport der Nährflüssigkeiten, bewegen sich alle Substanzen, mittels derer die verschiedenartigen Zellen des Tierkörpers zu ernähren sind, bz. die Stoffwechselprodukte. Bei höheren Tieren finden wir in den Blutgefässen die farblose Blut-

flüssigkeit, welche unter anderem die roten Blutkörperchen enthält. Der Zweckmässigkeit muss es in irgend einer Weise entsprechen, wenn diese Blutkörperchen bei manchen Arten, wie zb. beim Menschen, flache Cylinderform besitzen (Fig. 19), sei es, dass sie bei dieser Form leichter von jeder Zelle gerade diejenige Nahrung (Sauerstoff usf.) sich entreissen lassen, welche dieselbe nötig hat; sei es, dass sie in den Blutgefässen leichter

Fig. 19.

A Rote Blutkörperchen des Menschen. a von der Fläche, b von der Kante aus gesehen. B Zu sg. „Geldrollen" gruppierte rote Blutscheiben des Menschen. 1500mal vergr. Nach Böhm und v. Davidoff.

rollen und den Gefässquerschnitt dabei weniger verengern; sei es, dass sie leichter in enge Intercellularräume eindringen; sei es, dass alle diese und noch andere Ursachen bei der Formgebung mitgewirkt haben. Das Blut führt Nahrung herbei und nimmt unbrauchbar gewordene Stoffe wieder mit sich fort. Ausser den Blutgefässen giebt es in höheren Tieren noch mancherlei andere Gefässe und Bahnen, in denen Säfte, Sekrete und Exkrete da- oder dorthin transportiert werden.

c) Verdauende Organe.

Die verdauenden Zellen der Tiere haben sich gar vielfach verschiedener Nahrung anzupassen. Wegen der Aufnahme organischer Nahrung, die doch weit höher und viel mannigfaltiger differenziert ist als die unorganische, müssen sehr verschiedenartige verdauende Zellen, besonders in höheren Tieren, vorhanden sein. Eine solche Verschiedenheit folgt auch aus der fortgeschritteneren Gesamtdifferenzierung der Tiere. Denn je weiter ein Individuum in seinen kleinsten Bestandteilen differenziert ist, um so kompliziertere Nahrungsmolekeln müssen ihm seine verdauenden Zellen, bei sonst gleichem Verhältnis der

verdauenden Zellen zur Körpermasse, in der Regel liefern. Bei grösseren Tieren, die grössere verdauende Organe mit grösseren wirksamen Oberflächen besitzen, werden sich die verdauenden Zellen analog wie Pflanzenwurzeln in die in grösseren Massen zusammenhängende Nahrung hineinversenken. Daher bilden sich Zotten an den Wänden der Verdauungsorgane, pseudopodienähnliche Hervorragungen, welche sich an die Nahrungsmasse an- und in sie hineinlegen, bis dieselbe aufgenommen und verdaut ist. Es bilden sich sogar unter Umständen ganz freie verdauende Zellen, welche wie Synbionten sich fortbewegen, der besseren Nahrung entgegenkommen, zu den innersten Teilen grösserer Nahrungsmassen gelangen und hier Verdauungssäfte erzeugen. Die letzteren werden sodann durch Wandzellen der Verdauungsorgane leichter in das Gefässsystem des Tierkörpers befördert.

d) Sezernierende Organe.

Bis zu einer grossen und vielfachen Entwicklung sind durch Differenzierung der sezernierenden Zellen die Sekretionsorgane höherer Tiere gelangt. Für verschiedenartige Exkrete sind verschiedene Organe entstanden. Vielfache Organe haben sich gebildet, deren Sekrete die Verdauung durch verdauende Substanzen vorbereiten und unterstützen. Andere Organe liefern Sekrete zum Schutz des ganzen Individuums oder seiner einzelnen Teile; andere scheiden Sekrete ab, welche als Kampfmittel gegen feindliche Individuen dienen; wieder andere erleichtern die Fortpflanzung der Art. Je komplizierter der ganze Zellenstaat aufgebaut ist, um so mehr müssen vielfach verschiedene Sekrete abgeschieden und dem Individuum dienstbar gemacht werden.

e) Kontraktile Organe.

Grosse Bedeutung besitzen im tierischen Organismus die kontraktilen Zellen, die sich gleichfalls in verschiedener Weise aus den undifferenzierten Zellen entwickelt haben. Es sind aus solchen je nach dem Zweck, dem sie dienen sollen, Muskelzellen entstanden, welche langsamere Kontraktionen und Expansionen ausführen (glatte Muskelfasern); ferner andere Muskel-

zellen, welche rascherer Bewegungen, welche sogar in vielen Fällen schnellster Zuckungen fähig sind (quergestreifte Muskelfasern). Um stärkere Wirkungen hervorbringen zu können, müssen viele solche Zellen zu grösseren kontraktilen Organen, zu Muskeln sich verbinden. Ist ein sehr intensives Arbeiten solcher Muskeln erforderlich, so muss ausserdem für guten Transport zufliessender Nahrungsstoffe und abfliessender Stoffwechselprodukte gesorgt sein. Solche Muskeln werden also zahlreiche Gefässe, Gänge in ihrem Inneren besitzen, welche der Nahrung den Durchgang leicht gestatten; sie werden vermutlich aus Röhrchen (Fig. 20) bestehen, die als Ganzes sich kontrahieren oder expandieren, wenn alle Fistellen ihrer Membranen dies gleichzeitig thun (vgl. S. 1 und I S. 141). Wird daher durch irgend eine äussere Ursache, zb. durch einen Reiz, die Flüssigkeit, welche alle Fistellen, alle Röhrchenhohlräume erfüllt, chemisch in der Weise verändert, dass die Fistellenhohlräume enger im Durchmesser werden als ohne jenen Reiz, so wird dadurch im allgemeinen die Länge der ganzen Röhrchen verringert. Die Zelle kontrahiert sich bei passender Aneinanderlagerung ihrer Bestandteile als Ganzes in der Achsenrichtung ihrer Röhrchen, wenn diese alle gleich orientiert sind. Ist vermöge der Nahrungszufuhr durch die Röhrchenhohlräume hindurch die Flüssigkeit in ihren normalen Zustand zurückgeführt worden und unterbleibt ein neuer analoger Reiz, so können die Röhrchen samt ihren Fistellen wieder ihre normale Gestalt annehmen. Die Kontraktion wird aufgehoben, es tritt die Expansionsperiode der Zelle ein. Bei anderen kontraktilen Zellen können die Fistellenquerschnitte elliptisch sein oder längliche Sechsecke, welche durch ihren Uebergang in reguläre Querschnitte die Kontraktion vielleicht energischer bewirken (S. 2). Bei jeder einzelnen Art ist aber

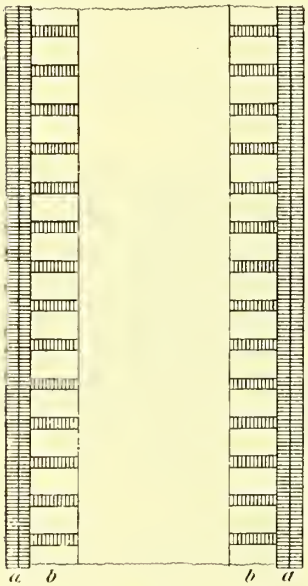


Fig. 20.

durch Differenzierung das entstanden, was für dieselbe das Passendste ist. Das Unzweckmässige wurde im Kampf ums Dasein durch Selektion jederzeit ausgeschieden.

f) Nervöse Organe; Sinnesorgane und Zentralorgane.

In ungemein reicher Vielfältigkeit sind die nervösen Zellen der Differenzierung fähig. Es sind in höheren Tieren Sinneszellen entstanden, die zu vereinter Wirksamkeit verbunden sind und hochentwickelte, aufs reichste differenzierte Sinnesorgane bilden. Auge, Ohr, Geruch, Geschmack, Gefühl sind Sinne, welche bei verschiedenen Tieren ganz verschieden differenziert, verschieden entwickelt sind. Das eine Tier sieht besser als alle anderen. Ein anderes hat das vorzüglichste Gehör. Wieder ein anderes hat das vortrefflichste Geruchsorgan. Alle diese Sinne haben sich durch Anlagerung zahlreicher ähnlich wirkender Zellen aneinander bz. durch entsprechende Zellteilungen allmählich im Lauf der Zeiten ausgebildet, dem Bedürfnis entsprechend. Es siegten im Kampf ums Dasein die Individuen einer Art, welche ihre Sinnesorgane am besten in der Weise entwickelt hatten, wie sie der Erhaltung der Art förderlich waren, und so pflanzte sich nur das Zweckmässige fort. Mit der Aenderung der Lebensbedingungen wurden anders entwickelte Organe zweckmässiger und Individuen mit diesen pflanzten sich weiterhin fort. Immer war das für die jeweils gegebenen äusseren Bedingungen Vorteilhafte auch das Bestehende bz. dasjenige, welches sich lebensfähig fortpflanzte.

Die Sinnesorgane sind diejenigen Organe höherer Tiere, welche einen von aussen auf den tierischen Körper wirkenden Einfluss als Reiz aufnehmen und in einen anderen Reiz umwandeln. Diesen nimmt nunmehr die reizleitende Substanz von einer oder von mehreren Zellen auf und sie leitet ihn weiter zu anderen Zellen. Denn es müssen wie in Pflanzen so auch in Tieren alle lebenden Zellen durch irgend eine reizleitende Substanz in der Weise zusammenhängen, dass der ganze Zellenstaat ein einheitliches Individuum bildet, dass keine Zelle eigenmächtig funktionieren kann. Geschieht letzteres dennoch, so werden die übrigen Zellen des Staates dadurch doch in Mitleidenschaft gezogen und sie suchen die widerspenstige Zelle durch Vermittlung

der nervösen Substanz zu beeinflussen, zu ihrer normalen, dem Zellenstaat, dem Individuum nützlichen Thätigkeit zu veranlassen. Wenn ihnen das gelingt, so stehen die Zellen untereinander in richtiger günstiger Korrelation. Der Zellenstaat ist im stande, den Kampf ums Dasein erfolgreich zu bestehen, und die Individuen, welche diese passende Korrelation ihrer Zellen besitzen, bleiben siegreich bei ihrem Wettbewerb untereinander und sie pflanzen sich schliesslich allein fort.

Ein Zellenstaat, der nur wenige Zellen enthält, könnte leicht so eingerichtet sein, dass jede seiner Zellen mit jeder anderen Zelle durch nervöse Substanz, durch Fibrillen verbunden wäre, wie solche etwa durch die von Zelle zu Zelle reichenden Protoplasmafäden gebildet werden mögen. In komplizierteren Zellenstaaten würde indessen eine solche Verbindungsweise zu ungemein verwickelten Anordnungen führen, die niemals der grössten Zweckmässigkeit entsprächen. Eine frühere ähnliche Ueberlegung brachte uns bereits auf die Vermutung, in einer Zelle bestehe die nervöse Substanz, welche doch gleichfalls zu allen wesentlichen Teilen derselben führen muss, aus Fäden, aus sich aufsplitternden Fibrillen, und diese laufen in ein gemeinsames Zentrum, wahrscheinlich in ein Zentralkörperchen zusammen (I. S. 190). Ganz analog muss es sich bei Zellenstaaten verhalten, die ja aus solchen Zellen entstanden sind. Führen von jeder Zelle des Zellenstaates einige oder führt auch nur eine Fibrille einer sich aufsplitternden nervösen Zelle (S. 16) zu einem gemeinsamen Zentralpunkte hin, so genügt eine ungemein viel geringere Zahl von nervösen Verbindungen zwischen den Zellen, um doch alle Reize von jeder einzelnen auf jede andere Zelle zu übertragen.

Vergleichen wir diesen Fall mit einem naheliegenden Beispiele. Wenn in einer Stadt von 1000 Telephonabonnenten alle miteinander Verbindung haben wollten, so würden dafür 1000 Leitungen zu einer Zentralstation genügen und einige Beamte, welche die Verbindungen, die Umschaltungen besorgen. Ohne diese Zentralstelle müsste jeder einzelne Abonnent mit jedem einzelnen anderen Abonnenten verbunden sein, und dazu wären etwa $^1/_2 \times 1000 = 500$mal mehr, also 500000 Leitungen nötig. Bei den Zellen des Zellenstaates haben wir ähnliche Verhältnisse. Ein tierisches Wesen, das beispielsweise aus 1000 Millionen

Zellen aufgebaut ist, braucht bei Vermittlung eines nervösen Zentralorgans nur 1000 Millionen nervöser Fibrillen. Würden durchschnittlich 10 solcher Fibrillen in eine nervöse Zelle zusammenlaufen, so könnte dieser Zellenstaat mit 100 Millionen nervöser Zellen die ganze nervöse Leitung besorgen, von jeder seiner Zellen zu jeder anderen. Ohne Zentralorgan wären etwa 500 Millionen mal mehr Fibrillen, also 500000 Billionen derselben nötig, eine für den Zellenstaat unerschwingliche Zahl. Das nervöse Zentralorgan ist demnach das zweckmässigste Organ zur Erhaltung der notwendigen Korrelationen unter allen Zellen des ganzen Zellenstaates.

Wenn von jenen 1000 Telephonabonnenten sehr viele, etwa 100 ganz nahe beisammen wohnen, an einem Ende der Stadt, so hat man dort eine Nebenzentrale einzurichten, und nur eine oder einige Leitungen zur Hauptzentrale zu führen. Dadurch wird nicht nur Material gespart, sondern es funktioniert eine solche Anlage im allgemeinen auch besser, wenn die nötige Sorgfalt auf dieselbe verwandt worden ist. Auch mögen vielleicht einzelne von diesen 100 Abonnenten lediglich untereinander verkehren wollen. Dasselbe System hat die Natur bei der Entwicklung der nervösen Zentralorgane angewandt. Nicht alle nervösen Fibrillen und alle Nerven reichen selber bis zum Hauptzentralorgan; vielmehr bilden sich nach Bedarf Nebenzentren aus, und erst diese sind durch besondere Nerven an das Zentralorgan angeschlossen. Andere Nerven verbinden nur ganz bestimmte Organe miteinander, ohne Berücksichtigung aller übrigen Zellen. Diese nervösen Verbindungen funktionieren aber dafür um so sicherer und zuverlässiger, weil sie weniger Störungen von aussen her erfahren können.

Nervöse Zentren werden im tierischen Körper als Ganglien oder als Gehirn bezeichnet. Die Zentralisation nervöser Leitungen in solchen Zentren hat vor dezentralisierten Verbindungen noch den Vorteil der besseren Ernährungsfähigkeit. Zu grösseren Ganglien und zum Gehirn wird die Nahrung durch grössere Blutgefässe geführt als zu einzelnen Nervenzellen, und jene grösseren Gefässe sind weniger leicht Störungen, Verstopfungen, Verschliessungen durch benachbarte auf dieselben drückende Organe ausgesetzt, als die feinsten Kapillaren.

Durch Arbeitslosigkeit einer Zelle kann der Anschluss der-

selben an das nervöse Zentralorgan nachträglich verloren gehen, es können die zugehörigen nervösen Fibrillen zerfallen. Dann wird die lebende Zelle zu einer leblosen, die nur noch etwa als Stützsubstanz oder in anderer spezieller Weise zu funktionieren hat. Befindet sich eine solche Zelle an der äussersten Körperoberfläche, so wird sie in vielen Fällen einfach abgestossen.

g) Fermente und Synbionten.

Wie der pflanzliche, so beherbergt auch der tierische Körper Fermente, mittels derer gewisse chemische Umsetzungen ermöglicht oder doch erleichtert werden, ausserdem aber hie und da zahlreiche verschiedenartige Synbionten, von den unsichtbar kleinen Lebewesen und den mikroskopisch kleinen Bakterien aller Art (Fig. 21) bis herauf zu sehr grossen Parasiten, wenn wir diese hier auch unter die Synbionten einreihen wollen. Von diesen Synbionten sind viele dem Zellenstaat schädlich und bei zu starkem Ueberhandnehmen können sie den Tod desselben zur Folge haben, durch Ausscheidung gewisser Stoffe, welche giftig wirken. Andere Synbionten sind dagegen von Nutzen, viele derselben von ganz unberechenbarem Nutzen für das Individuum, welches sie bewohnen. Wir brauchen uns nur der weissen Blutkörperchen, der Leukocyten, zu erinnern, die sich im Blute höherer Tiere befinden. Diese Leukocyten suchen Bakterien auf, die ihrem Zellenstaat schädlich sind; sie verschlingen und verdauen dieselben (Fig. 22). Sie sind auch in vielen Fällen im stande, unbrauchbar oder überflüssig gewordene oder krankhaft ausgeartete Zellen des Zellenstaates aufzulösen und schädliche Stoffe dadurch in unschädliche zu verwandeln.

Korrelation.

Jede Zelle steht mit ihren Nachbarzellen in unmittelbarer Verbindung. Es berühren sich die beiderseitigen Zellmembranen, wenn solche vorhanden sind, oder unter Umständen besitzen zwei benachbarte Zellen nur eine gemeinschaftliche Membran. Im allgemeinen werden stets Protoplasmafäden, das heisst Fibrillen durch die Membran hindurch von einer Zelle zur anderen reichen. Solche Fibrillen übertragen Reize von Zelle zu

Zelle, so dass Gruppen von Zellen gleichzeitig die gleichen Funktionen verrichten, wenn nur eine einzige von ihnen durch äussere Einwirkungen gereizt worden ist. Ebenso gehen Fibrillen durch die Zellmembranen hindurch und in die nervösen Zellen hinein, so dass jede einzelne Zelle eines tierischen Zellenstaates,

Fig. 21.

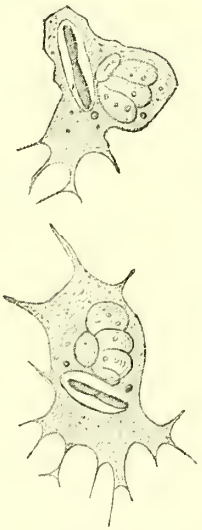


Fig. 22.

Fig. 21. Bakterien des Zahnbelags. a Leptothrix buccalis, bei a* nach Jodbehandlung, b Micrococcus, c Spirillum dentium nach Jodbehandlung, d Kommabacillen der Mundschleimhaut. Vergr. 800. Nach Strasburger.

Fig. 22. Ein Leukocyt des Frosches, in dem ein Bakterium eingeschlossen ist und verdaut wird. Das Bakterium durch Vesuvin gefärbt. Die beiden Figuren repräsentieren zwei Stadien der Bewegung ein und derselben Zelle. Nach Metschnikoff (Fig. 54).

bei der nervöse Fibrillen und Nerven vorhanden sind, mindestens an eine Nervenzelle angeschlossen ist oder doch jedenfalls während der gesamten Entwicklung dieses Staates einmal angeschlossen war. Denn der Anschluss an die Nervenzelle kann wieder verloren gehen, namentlich auch dann, wenn mehrere gleichartige Nachbarzellen so günstig durch reizleitende Fibrillen untereinander verbunden sind, dass durch Reizung einer Zelle alle übrigen in gleicher oder zum mindesten doch in genügender Weise gereizt werden.

Demzufolge stehen alle lebenden Nachbarzellen in Korrelation zueinander, unmittelbar benachbarte in der Regel durch reizleitende Fibrillen, welche durch die trennende Membran hin-

durchdringen, weiter voneinander abstehende Zellen durch die Nerven, die vermittelst ihrer Fibrillen unmittelbar oder mittelbar nach allen lebenden Zellen Verbindungen besitzen. Jede Zelle des Zellenstaates, welche gereizt wird, überträgt demnach einen Reiz auf das nervöse Zentralorgan, und umgekehrt kann von letzterem Organ aus jede lebende Zelle gereizt werden. In vielen Fällen sind durch passende Differenzierung bestimmte Nervenzellen entstanden, die nur den Reiz von peripherischen Zellen nach dem Zentralorgan leiten (zentripetal). Andere Nervenzellen leiten den Reiz umgekehrt vom Zentralorgan nach den peripherischen Zellen des Staates (zentrifugal). Wieder andere Nervenzellen umgehen das Zentralorgan, verbinden unmittelbar zwei oder mehr entfernte Zellgruppen, zwei Organe miteinander (Sympathicus). Diese Nervenzellen entstehen bei der Differenzierung, wenn die beiden Organe ohne Beeinflussung durch das Zentralorgan vorteilhafter für den Zellenstaat zusammenarbeiten, als mit einer solchen Beeinflussung. Doch werden auch die unmittelbar miteinander durch Nerven verbundenen Zellengruppen oder Organe ausserdem noch nervöse Verbindungen nach dem Zentralorgan besitzen. Nur in diesem Falle wird die Bedingung zweckmässigster Korrelation aller Organe untereinander vollständig erfüllt.

B. Kombination von Organfunktionen.

Korrelation der Organe.

Kein Organ des tierischen Körpers funktioniert ausschliesslich für sich allein, ohne andere Organe in Mitleidenschaft zu ziehen. Jedes Organ wirkt zum mindesten auf das Nervensystem, wenn es funktioniert, oder es wird dadurch zum Funktionieren gebracht, dass das Nervensystem auf dasselbe einwirkt, oder diese beiden Wirkungen bestehen nebeneinander. Durch das Funktionieren des Organs werden gewisse Stoffe verbraucht, zb. solche, welche als Nahrungssäfte im Blut dem Organ zugeführt werden. Es müssen demnach die verdauenden und die transportierenden Organe gleichfalls in Anspruch genommen werden, und ihr Funktionieren zieht wieder entsprechende Vorgänge in den übrigen Organen nach sich. Daher hat jede

Veränderung in einem Organ Veränderungen in allen anderen Organen des Zellenstaates zur Folge, wie es eben einer vollständigen Korrelation aller Organe untereinander entspricht.

Die Sinnesorgane sind der Hauptsache nach stets aus vielen gleichen oder fast gleichen Sinneszellen zusammengesetzt, die vorwiegend bestimmte Reize, je nach ihrer Bauart mechanische, akustische, thermische, optische oder chemische Reize aufzunehmen vermögen. Solche Reize bewirken im Inneren der Sinneszellen Veränderungen, die zweifellos im Grunde alle chemischer Natur sind. Gewisse Substanzen der Zellen werden in ihrer chemischen Konstitution verändert, wie wir dies früher eingehend erläutert haben (S. 3). Durch solche Veränderungen wird aber die Substanz der Nervenzelle, die ihre feinsten Fibrillen durch die Zellmembranen hindurch in die Sinneszellen hineinragen lässt, gleichfalls chemisch verändert. Die Nervenzelle wird daher gereizt, und der Reiz pflanzt sich, wenn er genügende Intensität besitzt, durch ihre ganze reizleitende Substanz hindurch fort, bis zum anderen Ende der Zelle, welches entweder unmittelbar oder mittelbar unter Zwischenschaltung einer zweiten Nervenzelle in das nervöse Zentralorgan hineinreicht. Sollen die Sinneszellen gut funktionieren, so müssen sie nach Aufhören des Reizes rasch wieder ihren vor der Reizung innegehabten normalen Zustand annehmen können. Sie müssen somit ihre Nahrung leicht aufnehmen können, aus passenden Nahrungssäften, aus Blut, das ihnen in genügend reichlicher Menge zugeführt wird. Wenn eine nervöse Einwirkung, etwa des nervösen Zentralorgans auf die Sinneszellen, den Blutzufluss zu denselben steigert, so wird dadurch unter Umständen die Wirksamkeit der Sinneszellen verstärkt.

Bei der Teilung der Sinneszellen werden in der Regel zwei nicht vollkommen gleiche Zellen entstehen, und wenn es für das Sinnesorgan, für das bt. Individuum selber von Vorteil ist, differenzieren sich die beiden Teilzellen, passen sich etwas verschiedenen Reizen an. Beim Gesicht (Auge) und beim Gefühl finden wir, wie es scheint, weniger starke Verschiedenheiten benachbarter Zellen desselben Sinnes, als beim Gehör, beim Geschmack und Geruch. Dass beim Funktionieren der Sinnesorgane auch alle anderen Zellenarten mehr oder weniger in Mitleidenschaft gezogen werden, haben wir schon vorhin erwähnt.

Ganz analog wirken andere Organe mit ihren zugehörigen Nerven zusammen. Stützorgane setzen sich aus Stützzellen zusammen, und in letzteren wird vorwiegend Stützsubstanz abgeschieden, wenn zb. etwa zu ihnen führende Nerven einen entsprechenden Reiz herbeileiten. Diese aber werden gereizt durch wiederholte mechanische Druckwirkungen, Zugwirkungen usf. auf Tastzellen der Körperoberfläche. Umgekehrt wird durch das Anlagern von Stützsubstanz wieder ein Reiz ausgelöst, der sich durch die Fibrillen des entsprechenden Nervs dem Zentralorgan oder unter Umständen sogar unmittelbar dem verdauenden Organ mitteilt, damit dieses die für die Anlagerung neuer Stützsubstanz in verstärktem Masse notwendig werdende entsprechende Nahrung liefert. Verdauende Organe, sezernierende Organe, transportierende Organe, sie alle werden durch bestimmte Nervenzellen oder durch ganze Aggregate von solchen Zellen zur Thätigkeit angeregt, wenn Reize vom Zentralorgan her oder von einem anderen Organ her auf sie übertragen werden; sie erregen ihrerseits, wenn sie arbeiten, wieder andere Nerven, welche die Reize fortleiten, zu anderen Organen, zum nervösen Zentralorgan hin.

Auch im Muskel steht jede Muskelzelle mittelbar oder unmittelbar mit den Endigungen eines motorischen Nervs in Verbindung, der vom Zentralorgan her, also zentrifugal, einen Reiz zu ihm leitet. Es werden durch solche Reize chemische Wirkungen, Umsetzungen, Atomumlagerungen in einer flüssigen Substanz des Muskels hervorgebracht. Die kontraktile Substanz der Muskelzellen kontrahiert sich infolgedessen, und der Muskel kann eine Arbeit leisten, vermöge dieser Kontraktion. Bei genügend reichlichem Blutzufluss wird aber, sobald der Reiz aufhört, die veränderte flüssige Substanz im Muskel wieder in den früheren normalen Zustand zurückversetzt. Es wird daher noch eine nervöse Verbindung, ein sensibler Nerv einen entsprechenden Reiz von den Muskelzellen zum Zentralorgan, also zentripetal, oder unmittelbar zu den transportierenden und zu den verdauenden Organen hinleiten, wenn die Rückverwandlung sehr rasch von statten gehen soll.

Durch mannigfach verschieden angeordnete Muskeln werden die verschiedenen Bewegungen der Tiere hervorgebracht, die für die Erhaltung der bt. Art besonders zweckmässig und notwendig

sind. Muskelbewegungen haben dafür zu sorgen, dass der Körperschwerpunkt bald mehr auf der einen, bald mehr auf der anderen Stütze ruhe und dass diese Stützen relativ zum ganzen Körper ihre Lage verändern. Wechseln die Muskelbewegungen in passender Weise miteinander ab, so kommt ein Kriechen zu stande, ähnlich wie wir demselben in einfachster Form schon bei den Amöben (Fig. 23) begegnet sind und wie dasselbe in vollkommenerer Form bei Raupen deutlich wahrzunehmen ist.

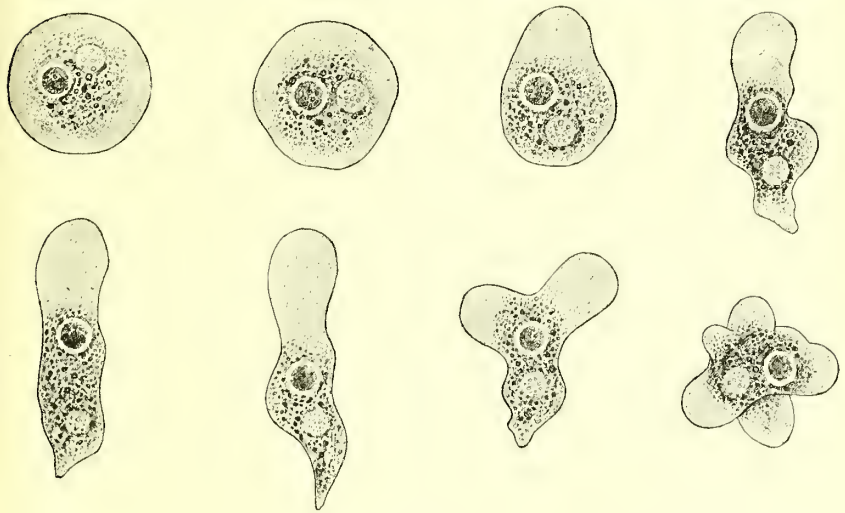


Fig. 23.

Eine Amöbe in verschiedenen Formenstadien beim Kriechen. Das hyaline Exoplasma fliesst immer voran. In der Mitte und hinten liegt das körnige Endoplasma mit dem dunkleren Kern und der blasseren Vakuole. Nach Verworn.

Im Laufe der Zeiten wurden die Stützzellen zu eigenen Organen ausgebildet, welche die Fortbewegung aufs beste zu stande kommen lassen. Solche Organe sind die der Fortbewegung dienenden Extremitäten. Den Fischen dienen die Flossen zur Fortbewegung; dieselben unterstützen kräftig die Wirkungen passender Körperkrümmungen, vermittelst derer sich der Fisch sogar ohne Flossen, wenn auch nicht in so günstiger Weise, vorwärts bewegen kann. Sehr viele auf dem Lande lebende Tiere, namentlich auch die höchst organisierten unter ihnen, haben vollständig ausgebildete Beine und Füsse, welche die Fortbewegung des ganzen Körpers mehr oder weniger ausschliesslich besorgen.

Flugbewegungen.

Ein besonders grosses Interesse hat für uns das Fliegen der Vögel. Um fliegen zu können, muss der Vogel nicht nur ein grosses Volumen bei geringem Gewicht, sowie im Verhältnis zu seinem Gewicht eine grosse Flügelkraft, sondern er muss auch sehr kräftige Füsse besitzen. Denn seine Füsse haben bedeutende Stosswirkungen aufzunehmen, wenn der Vogel infolge von unregelmässigen Luftströmungen mit zu grosser Geschwindigkeit auf dem Erdboden ankommt. Sehr wichtig ist ferner die Form und die Ansatzstelle der Flügel. Der Schwerpunkt des Vogels muss immer beträchtlich unterhalb derjenigen Flächen liegen, die in den Flügeln den Luftdruck aufnehmen, wenn der Vogel schwebend sich zur Erde herabsenkt. Wäre dies nicht der Fall, so würde der Vogel bei geringen äusseren Störungen umkippen und mit dem Rücken nach unten zur Erde fallen. Bewegt der Vogel durch Muskelkontraktionen seine Flügel schnell nach abwärts, durch langsamer erfolgende Muskelexpansionen langsamer aufwärts, so wird er dabei fliegend in die Höhe steigen, wenn der Kraftaufwand ein genügender ist. Durch zahlreiche passende Einrichtungen an den Federn, Flügeln, im ganzen Körper, die bei dem Vogel der Zweckmässigkeit entsprechend im Kampf ums Dasein entstanden sind, ist derselbe in den Stand gesetzt, bis zu grossen Höhen in die Luft sich zu erheben.

Durch richtige Benutzung ihrer Flugorgane vermögen viele Vögel lange Zeit ohne merkliche Flügelbewegung in der Luft zu schweben. Lässt sich ein Vogel von einer erhöhten Stelle A (Fig. 24), zb. von einer Dachrinne aus in die Luft herunterfallen, mit an den Körper angezogenen, nicht ausgebreiteten Flügeln, so wird er den Fallgesetzen gemäss bald eine grosse Geschwindigkeit erlangen. Durch passende Stellung der Flügel und der Schwanzfedern bewirkt er aber, dass seine Fallbahn nicht geradlinig, sondern gekrümmt ist, etwa ein Kreisbogen AB, den die Flächen der Flügel- und der Schwanzfedern ungefähr tangential berühren. Wenn er nun die relative Stellung jener eben genannten Federn zu einander beibehält, so wird er, vermöge der in B erhaltenen grossen Geschwindigkeit, in dem entsprechend anschliessenden Kreisbogen BC auf der anderen

Seite wieder in die Höhe steigen. Bloss schwebend, ohne Flügelschlag, wird er in C annähernd die gleiche Höhe über der Erdoberfläche erreichen, von der er sich (aus A) herabgelassen hat. Nicht genau gleich kann die Höhe C der Höhe A sein, weil etwas Energie für den Vogel verloren und an die Luft übergeht; denn infolge dieser schwebenden Bewegung des Vogels entstehen Strömungen in der Luft. Durch eine andere Stellung

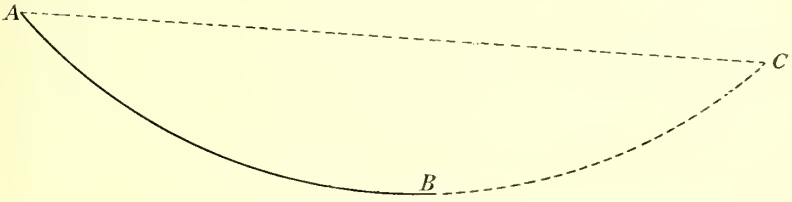


Fig. 24.

seiner Flügel und seiner Federn kann der Vogel unter Umständen in gerader Linie AC unmittelbar von A nach C schwebend sich herabfallen lassen. Oder er kann seine Flügel in geneigter Stellung so halten, dass er scheinbar in horizontalem Kreise schwebt, in Wirklichkeit aber eine Schraubenlinie abwärts beschreibt. Denn bei ruhender Luft oder bei gleichmässig horizontal bewegter Luft wird stets der Endpunkt C seiner Kreisbahn (Fig. 25) der Erdoberfläche näher sein, als der Anfangspunkt A derselben.

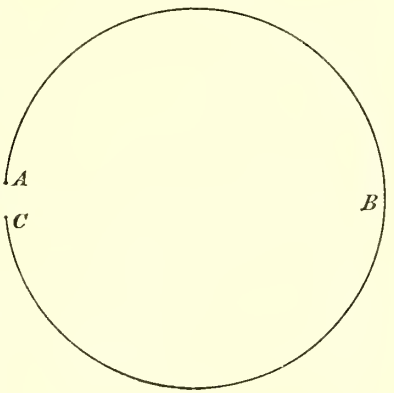


Fig. 25.

Günstiger liegen die Verhältnisse für den Vogel, wenn derselbe einen aufsteigenden Luftstrom benutzen kann. Schwebt er in einem so kleinen annähernd horizontalen Kreise, dass die ganze Kreisbahn in dem aufsteigenden Luftstrom sich befindet, und ist das Aufsteigen dieses Luftstromes ein genügend heftiges, so kann der Endpunkt C seiner Bahn sogar höher liegen als der Anfangspunkt A. Es vermag in diesem Fall der Vogel rein schwebend in die Höhe zu steigen, ohne mit den Flügeln zu schlagen.

Allerdings ist dieser Fall, dass ein Luftstrom mit genügender Geschwindigkeit in die Höhe steigt, um einem Vogel nur durch Schweben das Aufsteigen zu ermöglichen, vielleicht ein sehr seltener. Indessen hat der Vogel noch ein anderes Mittel, um in der Luft schwebend zu bleiben, wenn nur zwei unmittelbar benachbarte ausgedehnte horizontale Luftströmungen M und N ungleiche Geschwindigkeiten besitzen (in der Fig. 26 ist die zb. vertikal angenommene Begrenzungsebene beider Schichten durch die punktierte Gerade V V dargestellt; die ungleich langen Pfeile bezeichnen die ungleichen Geschwindigkeiten der Luftströmungen M und N). Wenn zwar der Vogel nur in der Luftströmung M oder in N allein seine Kreise zieht, die einem

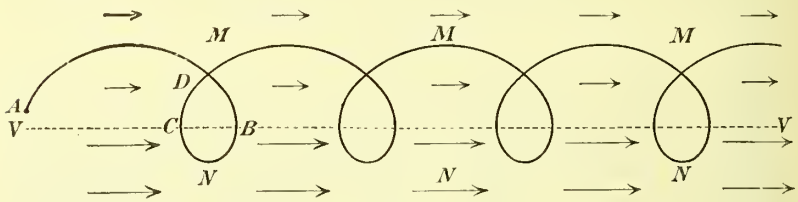


Fig. 26.

Beobachter auf der Erdoberfläche als Cykloiden erscheinen, falls diese Luftströmung relativ zur Erdoberfläche eine konstante horizontale Geschwindigkeitskomponente besitzt, so wird er bei solchem Schweben doch tiefer und tiefer gegen die Erdoberfläche sinken. Zieht er aber seine Kreise von A (Fig. 26) aus in den Grenzschichten der beiden Luftströme, lässt er sich in M über A nach B sinken und bewegt er sich nun von B nach C der zweiten Luftströmung N entgegen, der eine grössere Geschwindigkeit zukommt, so kann er durch passende Schrägstellung seiner Flügel bewirken, dass er — wie etwa ein Papierdrache — durch die Luftströmung N um einen gewissen Betrag in die Höhe getrieben wird. C liegt dann sogar höher als A, wenn nur die Differenz der Geschwindigkeiten der Luftströmungen M und N gross genug ist. Die notwendige Energie für dieses Aufsteigen erlangt der Vogel durch Reduktion der Geschwindigkeit eines gewissen Luftquantums der rascher bewegten Strömung N auf eine geringere Geschwindigkeit, die derjenigen der anderen Strömung M mehr oder weniger nahekommt. Wie den Cykloidenbogen ABCD, so beschreibt der

Vogel einen zweiten, einen dritten Bogen usf., und abgesehen von diesen Bogen erhält er allmählich bezüglich des Beobachters eine mittlere fortschreitende Geschwindigkeit in der Richtung jener beiden Luftströmungen und ungefähr gleich dem Mittelwerte der Geschwindigkeiten der letzteren. Bei den kreisend schwebenden Vögeln können wir hie und da die Periode BC des Steigens deutlich als solche erkennen, wenn nämlich der kleinere Bruchteil der kreisenden Bewegung in der einen Luftströmung, der grössere Bruchteil in der anderen Luftströmung ausgeführt wird. Bei gleichmässiger Benützung beider Luftströmungen kann der Vogel in jeder derselben schwebend dem Drachenprinzip zufolge emporsteigen, wenn nur ihre Geschwindigkeitsdifferenz genügend gross ist.

Wenn beide Luftströmungen M und N eine und dieselbe Richtung haben, so wird der Vogel bei seinem Kreisen in dieser Richtung mitgenommen. Sind es aber gleich starke und entgegengesetzt gerichtete Luftströmungen, die vom Vogel benutzt werden, so kann derselbe über einer und derselben Stelle der Erdoberfläche, also etwa zu unseren Häuptern, sich nur mit Schweben allein in die Höhe erheben. Wir dürfen nicht daran zweifeln, dass der Vogel in seinen Flügelfedern oder in gewissen anderen Federn ein feines Gefühl für Luftströmungen, für Richtung und Stärke derselben besitzt. Denn unter allen Umständen muss er die Wechsel von Luftströmungen rasch erkennen, er muss seine Flügelstellungen, seine Bewegungen denselben anpassen, um nicht Schaden durch dieselben zu leiden.

Die Fortbewegungsorgane des Menschen sind hauptsächlich für das Gehen eingerichtet. Der Mensch strebt aber danach, weil ihm das Fliegen unter unmittelbarer Benutzung seiner Gliedmassen versagt ist, mit mechanischen Apparaten das Fliegen zu stande zu bringen. Nach unseren Entwicklungen ist eine beim Fliegen mit Apparaten notwendig zu erfüllende Hauptbedingung das richtige Herablassen, das Landen. Denn in der Höhe mag ein Mensch noch so viel Erfahrungen über das Fliegen sammeln, wenn er beim Herablassen verunglückt, sind die von ihm gesammelten Erfahrungen wertlos. Der Flugapparat muss also in erster Linie durch eine einfach und sicher zu handhabende Vorrichtung oder bei plötzlich eintretenden ungünstigen Verhältnissen automatisch in einen Fallschirm sich verwandeln, der den Fliegenden sicher und wohlbehalten auf die Erde zurückbringt. Dies ist das erste Hauptgebot, welches die Konstrukteure von Flugapparaten zu beachten haben. Sodann muss der Apparat, wenn nicht ein hoher Berg oder eine Turmspitze als Ausgangspunkt der Fahrt genügt, nach dem

Drachenprinzip oder mittels eines eigenen leichten Motors, deren in der Flugtechnik schon zahlreiche leistungsfähige konstruiert worden sind, in eine genügende Höhe gebracht werden. Auch muss der Apparat grosse Segelflächen besitzen, welche leicht verstellbar sind, so dass der Lenker desselben ähnlich wie ein schwebender Vogel durch richtiges Einstellen der Segelflächen an der Grenze zweier ungleich schnell horizontal bewegter Luftströmungen in die Höhe steigen kann, indem er Kreise bz. Cykloiden beschreibt (Fig. 26). Unbedingt erforderlich sind ferner Messinstrumente, namentlich solche, welche an jeder Stelle der Bahn die relative Geschwindigkeit der Luftströmungen bezüglich des Flugapparats und die jeweilige Richtung dieser Geschwindigkeit leicht und genau erkennen lassen. An diesen Messapparaten muss der Lenker des Apparates die für ihn günstigen Luftströmungen während der Fahrt erkennen. Er wird sich dann Uebung im Benutzen solcher Strömungen erwerben können, wenn nur dafür gesorgt ist, dass er stets wohlbehalten auf die Erde sich niederlassen kann. Vermittelst zweier ungleich schnell horizontal strömender Luftschichten M und N, welche vertikal übereinander verlaufen, welche sich in horizontaler Trennungsfläche H H berühren, ist ein Schweben, bz. ein Segeln eines solchen Flugapparates gleichfalls möglich, wie die Fig. 27 zeigt. Die obere Segelfläche F_1 bewegt sich langsamer vorwärts als die Luftströmung N, in welcher sie sich befinden muss, wird also nach dem Drachenprinzip gehoben. Die untere Segelfläche F_2 bewegt sich umgekehrt schneller als die Luftströmung M, wird somit nach dem gleichen Prinzip ebenfalls gehoben. Denn die absolute Geschwindigkeit des Flugapparates wird einen Mittelwert zwischen den Geschwindigkeiten von M und von N annehmen, wenn der Apparat mit seinen Segelflächen F_1 und F_2 halb in der oberen, halb in der unteren Schicht sich befindet, wie die Figur zeigt. Der Schwerpunkt des Apparates ist möglichst tief gedacht, etwa in S, damit ein Umkippen desselben vermieden wird. Mit einem Apparat, welcher den hier angegebenen Bedingungen genügt und dessen Segel sowohl in die der Fig. 27 entsprechende Lage, als auch in die Lage für das Beschreiben von Cykloiden nach der Fig. 26 gebracht werden können, scheint das Segeln in höheren Luftschichten möglich zu sein. Die Uebung wird auch hier die wichtigste Lehrmeisterin abgeben.

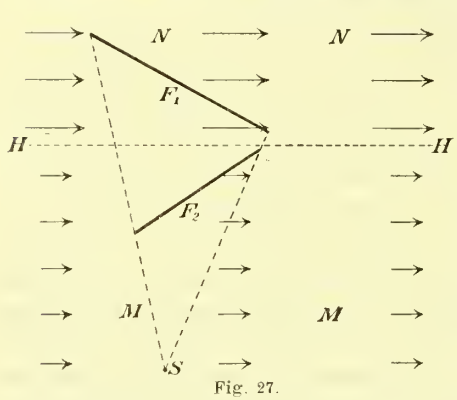


Fig. 27.

Der Verdauung dienende Bewegungsorgane.

Die Tiere besitzen noch viele andere Bewegungsorgane ausser denjenigen, welche zur Fortbewegung ihres ganzen Körpers dienen, namentlich die höher organisierten unter ihnen. Sie haben Bewegungsmechanismen zum Einführen von Wasser oder von Luft für die Sauerstoffaufnahme und zum Ausstossen des verbrauchten Wassers oder der verbrauchten Luft, welche nun teilweise statt des Sauerstoffs Kohlensäure enthalten; sie haben also Bewegungsmechanismen für den Atmungsvorgang. Sie haben eigene Bewegungsmechanismen für den Transport des Blutes, für denjenigen der verdauten, der sezernierten Substanzen. Sehr verwickelt ist die Funktion derjenigen Organe, welchen die Aufnahme und Verdauung der eigentlichen Nahrung, die Abscheidung unbrauchbarer Stoffe obliegt. Der Mund ergreift die Nahrung, besorgt häufig die mechanische Zerkleinerung derselben und die Ausscheidung dieser oder jener nachteiligen Stoffe. Im Munde werden verschiedene zur leichteren Verdauung dienende Sekrete abgesondert und der zerkleinerten Nahrung beigemengt, so dass ein Speisebrei entsteht, welcher durch geeignete Bewegungsmechanismen in den Magen befördert wird. Von diesem gelangt er im passenden Zeitpunkt in die Gedärme und wird hier langsam fortgeschoben, bis er, aller brauchbaren Nahrung möglichst beraubt, aus dem Körper wieder ausgestossen werden kann. Auch im Magen und in den Gedärmen werden noch Sekrete abgeschieden, die hauptsächlich der Verdauung dienen. Die Fortbewegung des Speisebreis erfolgt stets durch passend angelegte Muskeln. Zum Teil sind die Muskelfaserrichtungen in den Gedärmen zirkular, zum Teil longitudinal. Durch das richtige Zusammenwirken verschiedener Muskelfasern in einem Muskelschlauch kann sogar eine nahezu festgewordene Masse noch gut vorwärts geschoben werden, teils durch Wirkung der zirkular angeordneten Muskelfasern allein, wenn diese in fortschreitender Aneinanderreihung successive in ihren Kontraktionsbewegungen sich ablösen, teils durch vereinigte Wirkung von zirkularen und longitudinalen Muskelfasern, etwa wie bei sich fortbewegenden Würmern. Es bringen nämlich die zirkularen Muskeln an einer Stelle zuerst eine Einschnürung des Schlauches hervor, sodann ziehen die longitudinalen Muskeln

diese Einschnürung in der Richtung der Fortbewegung der Masse an und schieben sie samt der Masse vorwärts. Nun werden die zirkularen Muskeln und darauf die longitudinalen Muskeln entspannt. Nach diesen Vorgängen befindet sich der Schlauch wieder in der gleichen Lage wie zuvor, die in seinem Inneren befindliche Masse aber bleibt verschoben. Führen nun seine Muskeln diese Kontraktionen und Expansionen nochmals in gleicher Reihenfolge aus, so schieben sie dadurch die im Inneren des Schlauches befindliche Masse neuerdings um ein entsprechendes Stück vorwärts usf. Die Nerven, welche derartige Vorgänge in den Eingeweiden leiten und beherrschen, gehören grösstenteils dem Sympathicus an, gehen nur zum Teil nach dem nervösen Zentralorgan, nach dem Gehirn, weshalb sie dem selbständigen Willen des Individuums fast ganz entzogen sind.

Automatische Herzbewegung.

Zur Bewegung des Blutes haben alle höher entwickelten Tiere ein automatisch funktionierendes Organ, das Herz, von mehr oder weniger verwickelter Bauart. Wesentlich ist für die Herzbewegung, dass dieselbe rhythmisch in annähernd gleichbleibender Periode erfolgt, dass sich Kontraktionen und Expansionen regelmässig ablösen. So schwer es sein mag, durch genaueste Untersuchungen aller Teile des Herzens zu beweisen, dass die automatische regelmässige Bewegung des Herzens in einer ganz bestimmten Weise erfolgen *muss*, so wenig schwer scheint es, zu zeigen, dass diese Bewegung in einer gewissen Art und Weise erfolgen *kann*. Stellen wir uns nämlich eine Herzkammer vor, deren Wandungen aus kontraktiler Substanz, aus zirkular gerichteten Muskeln bestehen, welche reichlich mit Blutgefässen versorgt sind. Die Muskeln mögen sich im Expansionsstadium befinden, die Herzkammer sei weit geöffnet. In dieser ausgeweiteten Form der Herzkammer sollen Fibrillen, welche zb. etwa quer durch die Herzkammer hindurch verlaufen, angespannt werden, und sie mögen dadurch das eine Ende eines Nervs reizen, dessen anderes Ende in den zirkularen Muskelzellen der Herzwandung sich aufsplittert. Wird nun durch diese Nervenreizung die in der kontraktilen Herzsubstanz befindliche chemisch umwandelbare Flüssigkeit so verändert, dass Kontraktion jener

Substanz erfolgen muss (S. 1), so verengt sich die Herzkammer durch Zusammenziehung der zirkularen Muskelfasern. Der bei der Kontraktion aufgewandten Energie entsprechend wird von den Herzmuskeln Nahrung aus dem frischen Arterienblut aufgenommen, verbrauchtes Blut wird an die Venen abgegeben. In der verengten Form der Herzkammer sind jene querverlaufenden Fibrillen wieder entspannt, die Nervenreizung unterbleibt unterdessen. Vermöge des reichlichen Blutzuflusses zu den Herzmuskeln nimmt nun die ihre kontraktile Substanz ausfüllende Flüssigkeit allmählich wieder ihre normale Beschaffenheit an. Während diese Rückverwandlung der zuvor veränderten, die kontraktile Substanz ausfüllenden Flüssigkeit fortschreitet, wird die Kontraktion aufgehoben. Es erfolgt die Expansion der Herzmuskeln so lange, bis jene querverlaufenden Fibrillen neuerdings angespannt werden, bis sie neuerdings einen Nervenreiz bewirken, so dass nun die nächste Kontraktion zu stande kommt usf. Es ist weder wahrscheinlich noch notwendig, dass in einem Herzen die beiden Kammern und die beiden Vorhöfe links und rechts genau im gleichen Augenblick sich kontrahieren. Wenn jede Herzkammer, jeder Vorhof seine eigenen Fibrillen, welche im ausgeweiteten Zustande des bt. Raumes angespannt werden, seine eigenen Nerven besitzt, welche dabei die entsprechenden Muskelfasern reizen, so kann, je nach der Anordnung jener Fibrillen, die stärkste Anspannung und daher die Reizentwicklung derselben zu etwas verschiedenen Zeiten stattfinden. Dann werden aber auch die Kontraktionen selber für die verschiedenen Herzkammern nicht genau gleichzeitig sein können.

Verschiedene automatische Bewegungen.

In ähnlicher Weise kann die automatische Atmungsbewegung zu stande kommen. Jedoch sind der Möglichkeiten für die Entstehung automatischer Bewegungen noch viele andere. Wir haben uns vorgestellt, ein Nerv sei gereizt, wenn in seiner reizleitenden Substanz die Molekeln je ein Atom aufgenommen oder ein solches abgegeben haben, oder wenn sich in ihnen ein Atom umgelagert hat (S. 3). Solche Veränderungen sind aber chemischer Natur, und wenn wir bei unserer vorigen Betrach-

tung einen Nerv durch eine im Inneren der Herzkammer befindliche gespannte Fibrille gereizt werden liessen, so ist dies nur einer von vielen möglichen Fällen; die Reizung kann ebensowohl auf rein chemischem Wege erfolgen. Wenn zb. an irgend einer Stelle des Herzens nur in expandiertem Zustande desselben eine flüssige Substanz das eine Nervenende umspült, und dadurch jenen Reiz hervorbringt, so erfolgt Kontraktion. Wird infolge der Kontraktion diese Substanz hinweggedrückt, entfernt, so verschwindet der Reiz, die Herzmuskeln können sich wieder ausdehnen. Wenn sodann bei der Ausdehnungsperiode neue einen Reiz ausübende Substanz angesaugt wird und im ausgedehnten Zustande des Herzens neuerdings jenes Nervenende umspült, so erfolgt die nächste Kontraktion usf. Derartige Wechsel sind leicht möglich, beispielsweise bezüglich des Blutes; denn das in die Gefässe einströmende arterielle Blut verlässt nach dem Hindurchströmen durch die Kapillaren als verändertes, als venöses Blut die Herzmuskeln. Je nachdem Kontraktion stattfindet oder Expansion, wird also an bestimmten Stellen der Kapillaren arterielles oder venöses Blut sich befinden, und diese verschiedenen Blutarten selber können entweder nicht reizen oder reizen.

Wir wollen noch weiter zurückgehen auf die kleinsten Organoide. Zu diesem Zweck nehmen wir keine Rücksicht auf die in der Blutflüssigkeit befindlichen festen Blutkörperchen, vielmehr nehmen wir an, es könne die Blutflüssigkeit selber oder noch allgemeiner irgend eine Nahrungsflüssigkeit diejenige Substanz sein, welche ein Nervenende reizt oder nicht reizt, je nachdem sie weniger oder mehr Nahrungsstoffe einer bestimmten Art in sich birgt. Es enthalte diese Flüssigkeit zugleich diejenigen Flüssigkeitsmolekeln, welche, in die Fistellenhohlräume eingedrungen und vom Nerv gereizt, die Fistellen zur Ausweitung oder zur Zusammenziehung veranlassen, so dass in beiden Fällen nach bestimmten Richtungen hin Kontraktion bz. nach anderen Richtungen hin Expansion erfolgt. Auch in diesem Falle mögen durch chemische Reizungen des vermittelnden Nervs die genannten in den Fistellenhohlräumen befindlichen Flüssigkeitsmolekeln gereizt worden sein. Es kommt daher zb. eine Kontraktion zu stande. Die kontraktile Substanz presst die Nahrungsflüssigkeit zum Teil weg, zum Teil vielleicht durch

die Fistellen selber hindurch. Wird dabei die reizausübende Flüssigkeit vom gereizten Nervenende gleichzeitig weggedrückt, so hört der Reiz auf, die Expansionsperiode kommt zu stande, welche wiederum eine Kontraktionsperiode nach sich zieht usf. Wir erhalten also auch in diesem einfacheren Falle die automatische periodische Bewegung.

Nun ist aber die Mitwirkung eines Nervs gar kein unbedingtes Erfordernis. Es genügt, dass nervöse Substanz vorhanden sei, welche etwa gereizt wird von verbrauchter Nahrungsflüssigkeit, nicht gereizt von guter Nahrungsflüssigkeit. Es erfolgen dann bei entsprechender analoger Kombination der Substanzen wie oben die automatisch regelmässigen Kontraktionen. Schliesslich kann im einfachsten Fall die nervöse Substanz ersetzt sein durch ein Ferment, welches in genügender Menge in der kontraktilen Substanz selber verteilt ist, und welches durch blosse Berührung, ohne sich selber zu zersetzen oder zu verändern, gewisse Molekeln der Flüssigkeit infolge chemischer Beeinflussung in ihren Querschnitten so verändert, dass diese die Fistellenquerschnitte entsprechend verändern. Kommt nun die verbrauchte Nahrungsflüssigkeit mit dem Ferment in Berührung, so wandeln sich gewisse Molekeln derselben um, die Fistellen der kontraktilen Substanz verändern ihre Querschnitte, die Kontraktion erfolgt. Dadurch wird aber die nunmehr veränderte Flüssigkeit hinweggedrückt, etwa durch die Fistellen selber oder durch Röhrchen hindurch, welche aus Fistellen aufgebaut sind. Bei dieser Bewegung der Nahrungsflüssigkeit gelangen neue noch nicht vom Ferment beeinflusste Flüssigkeitsmolekeln in die kontraktile Substanz, in die Fistellen. Die kontraktile Substanz nimmt daher ihre frühere Gestalt an, sie expandiert in Berührung mit den unveränderten Molekeln der guten Nahrungsflüssigkeit. Weiterhin wird aber durch den Stoffwechsel aller Fistellen, aller Molekeln die gute allmählich wieder in verbrauchte Nahrungsflüssigkeit umgewandelt. Kommt diese zur Berührung mit dem Ferment, so werden ihre entsprechenden Molekeln neuerdings verändert und es erfolgt die zweite Kontraktion, darauf die zweite Expansion, dann die dritte Kontraktion usf. Wir erhalten wiederum automatische periodisch sich wiederholende Kontraktionsbewegungen.

Uebrigens haben wir in der Natur sehr einfache Beispiele

der Entstehung automatisch periodischer Bewegungen. Ein Zweig, welcher in fliessendes Wasser taucht, von einem am Ufer stehenden Baum herunterhängend, wird vom Wasser mitgerissen, eine Strecke weit, bis er durch die Zugkraft seines Baumes aus dem Wasser in die Luft herausgerissen wird. Dann schnellt er zurück, taucht von neuem an der früheren Stelle in das Wasser ein, wird wieder mitgerissen usf.; es entsteht eine automatisch-periodische Bewegung. Sehr einfach kommen auch periodische Bewegungen zu stande in Blasinstrumenten, in denen ein konstanter, an passenden elastischen Membranen vorbeistreichender Luftstrom diese Membranen in periodische Schwingungen versetzt. Ein analoger Vorgang spielt sich ab in unserer Stimmritze beim Singen. Eine periodische Bewegung entsteht ferner, wenn fortwährend sehr geringe Wassermengen aus einem Gefäss abfliessen. Es bildet sich in diesem Fall kein Wasserstrahl, vielmehr löst sich der zu dünne Wasserfaden in Tropfen auf, welche in regelmässiger Periode herabfallen.

Periodische Bewegungen, die unzweifelhaft automatisch zu stande kommen, findet man schon bei den niedersten Lebewesen. Wimperinfusorien, auch wohl Geisselinfusorien zeigen solche Bewegungen. Die periodischen Vakuolenbewegungen müssen auf analoge Vorgänge zurückgeführt werden. In Zellenstaaten giebt es Flimmer-, Wimper-, Geisselbewegungen, welche automatisch erfolgen, und zwar unter Umständen durch rein lokale Wirkungen, nicht durch Reize, welche vom Gehirn ausgehen. Denn Wimperbewegungen erfolgen noch in Wimperzellen, so lange nur ein Tröpfchen Protoplasma mit den Wimpern in Verbindung steht, und wird die Wimperreihe durch einen Schnitt geteilt, ohne dass die ganze Zelle dabei zerschnitten wird, so schlagen die Wimpern auf der einen Seite des Schnitts im allgemeinen in anderem Tempo als diejenigen auf seiner anderen Seite (vgl. Litteratur).

Automatische Flugbewegungen.

Automatisch erfolgen sicher auch die Flügelbewegungen der Insekten. Will das Insekt fliegen, so bringt es zuerst seine Flügel in geeignete Lage. Bei diesem Vorgang wird der Blutzufluss in die Flügelmuskeln gesteigert, und nun erfolgen die periodischen

Bewegungen, Kontraktionen und Expansionen dieser Muskeln, also regelmässige Muskelzuckungen, vollständig automatisch, so wie wir es oben für das Herz entwickelten, oder in einfacherer Weise, wie es für die Flimmerbewegung wahrscheinlich ist. Würde der Wille des Insekts bei jedem einzelnen Flügelschlag in Betracht kommen, so müsste die Geistesthätigkeit desselben eine ungemein lebhafte sein; auch würde das Insekt das Fliegen erst nach und nach erlernen können. Beides entspricht jedenfalls nicht der Wirklichkeit, vielmehr handelt es sich zweifellos um automatische Wirkungen. Das scheinen auch die ganz bestimmten Perioden der Flügelschläge zu beweisen, die jeder Insektenart entsprechen. Die Flügelschläge sind so sehr gleichmässig, in gleichen Zeiträumen aufeinanderfolgend, dass wir in der Regel einen bestimmten Ton beim Fliegen des Insekts vernehmen, welcher sehr konstant und immer derselbe bleibt, wenn das Insekt nicht gejagt wird. Wir dürfen vermuten, dass die Insekten diese Töne wenigstens in vielen Fällen selber wahrzunehmen vermögen, dass sie eigene Organe hiefür besitzen, dass auf diese Weise Individuen der gleichen Art sich finden. Wenn solches der Fall ist, dann werden die Tonhöhen dieser Arten, ihrem absoluten Werte nach, in ziemlich engen Grenzen schwanken.

Bei den Vögeln können die Flügelbewegungen in ähnlicher Weise wie bei den Insekten mehr oder weniger automatisch sein. Allerdings hat der Vogel zweifellos ein feines Gefühl in seinen Federn, und diesem zufolge kann er sich den geringsten Aenderungen der Luftströmungen rasch anpassen. Indessen folgen sich doch seine Flügelschläge in der Regel periodisch, wenigstens bei den kleineren Arten. Hält man einen kleinen Vogel, etwa einen Kanarienvogel, an seinen äussersten Flügelfedern fest, so sucht er fortzufliegen. Er bewegt seine Flügel, soweit es geht, aber nicht nur einmal, was doch genügen würde, um ihn erkennen zu lassen, dass seine Flügel wirklich festgehalten sind; vielmehr geraten seine Flügel in andauernde Zuckungen, etwa der Periode seines Flügelschlages entsprechend. Schon der Wille, zu fliegen, bringt bei dem Vogel selbstthätig, also automatisch aufeinanderfolgende zahlreiche Schwingungen seiner Flügel hervor. Ja sogar das seines Kopfes beraubte Huhn ist gelegentlich noch im stande, eine Strecke weit fortzufliegen. Je

grösser aber eine Vogelart ist, um so langsamer folgen sich im allgemeinen die Flügelschläge, um so mehr kann der Vogel mit seinem Willen jeden einzelnen Flügelschlag beherrschen und um so wichtiger wird es für denselben, jeden Flügelschlag zweckmässig, zur richtigen Zeit, in der richtigen Intensität, in der richtigen Stellung der Flügel in Beziehung zum übrigen Körper auszuführen.

Periodenänderung der Herzbewegung.

Es ist denkbar, dass alle automatisch periodischen Bewegungen, welche wir oben genannt haben und welche mit der Blutzirkulation zusammenhängen, ohne Mitwirkung von mechanischen Spannungen elastischer Fibrillen zu stande kommen, von denen wir bei Betrachtung der Herzpulsationen zuerst ausgegangen sind, dass vielmehr nur chemische Wirkungen die entsprechenden Veränderungen hervorbringen. Jedenfalls übt die chemische Beschaffenheit des Blutes auf die Periode der Herzbewegung einen grossen Einfluss aus. Sind wir zb. aufgeregt, oder steigen wir rasch bergan, so schlägt das Herz merklich schneller. Es wird mehr Blut aufgebraucht, unbrauchbar gemacht, chemisch verändert, und dementsprechend sorgt das Herz für schnellere Nachlieferung. Auch in vielen Krankheitsfällen schlägt das Herz schneller, während es in anderen Fällen ermattet und zuletzt ganz stillsteht. Dabei mag wohl auch die Herzmuskelsubstanz ihrerseits sich in ihrer Beschaffenheit entsprechend geändert haben.

Bluttemperatur.

Die niederen Tiere haben kaltes, die höheren warmes Blut. Sieht man genauer zu, so erkennt man, dass die höher differenzierten Tiere eine fast konstante Bluttemperatur besitzen, während dies bei den Kaltblütern nicht der Fall ist. Ob es in ihrer Umgebung kalt oder warm sei, stets behalten die Warmblüter annähernd ihre normale Bluttemperatur. Die sg. Kaltblüter lassen dagegen ihre Bluttemperatur mit der Temperatur ihrer Umgebung sich ändern, und sie können unter Umständen zu gewissen Zeiten wärmeres Blut haben als die sg. Warmblüter.

Wahrscheinlich ist die konstante Bluttemperatur der Warmblüter nahezu die Dissoziationstemperatur mancher Blutbestandteile oder sie ist sogar die wirkliche Dissoziationstemperatur einer bestimmten Substanz des Blutes. Unter dieser Annahme gelingt es, die leichte Umsetzbarkeit gewisser Zellsubstanzen bei Berührung mit dem Blute, die Konstanz der Bluttemperatur, den raschen Tod bei entsprechender Erhöhung der Bluttemperatur leichter zu begreifen.

Regeneration.

Die Regeneration ganzer Zellenstaaten aus einzelnen ihrer Teile (S. 45) ist bei Tieren ein seltenerer Vorgang als bei Pflanzen, besonders wenn die Tiere zu den höher entwickelten, zu den weiter differenzierten gehören. Die höchst entwickelten Tiere, die Säugetiere, die Vögel, können allerdings einzelne verloren gegangene mehr oder weniger grosse Zellengruppen durch Regeneration ersetzen, nie aber ganze Organe, Extremitäten usf. Dagegen sind schon die weniger hoch entwickelten Reptilien, zb. Eidechsen, im stande, einen verlorenen Schwanz wieder zu regenerieren. Je tiefer wir im Tierreich hinabsteigen zu weniger differenzierten Zellenstaaten, um so weiter ist im allgemeinen die Regenerationsfähigkeit ausgebildet. Ein Froschembryo im frühesten Entwicklungsstadium kann seine ganze Körperhälfte, unter Umständen sogar einen noch grösseren Teil seines Körpers durch Regeneration neu entstehen lassen.

Ermüdung und Lähmung.

Alle Zellsubstanzen ermüden bei übermässiger Inanspruchnahme. Wie die Ermüdung und die Lähmung sich durch innerste Vorgänge in den Molekeln erklären lassen, haben wir früher (I, S. 157) auseinandergesetzt. Bei tierischen Wesen ist wohl die nervöse Substanz der Ermüdung am meisten oder doch am auffälligsten ausgesetzt. Es können ferner durch geeignete Narcotica alle Tiere vorübergehend mehr oder weniger gelähmt werden. Am meisten werden dabei allem Anschein nach die Nerven in Mitleidenschaft gezogen. Uebermässige Beeinflussung der Tiere durch Narcotica kann zum Tode derselben führen.

Lähmungen gehen auch aus inneren Ursachen hervor, sind aber dem Wesen der Sache nach doch auf chemische Vorgänge zurückzuführen, analog wie die narcotisierenden Wirkungen und wie die Ermüdung.

Tod.

Am wenigsten differenziert von allen Zellen erscheinen in gewisser Beziehung die Fortpflanzungszellen (S. 23). Aus einem Paar solcher Zellen geht bei allen höher entwickelten Tieren der Embryo hervor. Je weiter nun in der Keimesentwicklung die Eifurchung fortschreitet, um so mehr differenzieren sich die einzelnen Zellen und ihre Substanzen, die Molekeln derselben, wie wir später zeigen werden (5. Kap.). Umgekehrt sind aber die Zellen und ihre Substanzen um so anpassungsfähiger, je weniger differenziert sie sind. Wenn daher in der embryonalen Entwicklung und später während des Lebens die Differenzierung der Zellen immer weiter fortschreitet und wenn dadurch die Anpassung an die normalen Lebensbedingungen eine immer bessere wird, so nimmt dabei in entsprechendem Masse doch der Bereich ab, in dem die Zellen und ihre Substanzen sich anzupassen vermögen. Es nimmt die Anpassungsfähigkeit ab, nach Massgabe der Zunahme der Anpassung selber. Immer enger wird der Bereich, für welchen die Anpassungsfähigkeit erhalten bleibt, bei fortgesetzter Differenzierung der Zellen. Die am höchsten entwickelten Individuen sorgen vermöge ihrer Erfahrungen selber noch dafür, dass alle äusseren Einflüsse, welchen sie sich nicht mehr bequem anzupassen vermögen und welche daher unangenehme Reizwirkungen zur Folge haben, möglichst vermieden werden. Immer besser passen sie sich dadurch den mittleren normalen Lebensbedingungen an, aber immer unfähiger machen sie sich zugleich, stark veränderten Lebensbedingungen noch zu genügen. Demnach wird nunmehr der Bereich der Anpassungsfähigkeit durch die wirklich vorhandenen Lebensbedingungen immer leichter überschritten. Die Folge davon ist der Zerfall von Zellsubstanzen, von ganzen Zellen und schliesslich der Tod des Tieres selber, wenn einmal die abnormen Lebensverhältnisse entsprechend lange Zeit andauern. (Pflanzen verhalten sich analog.)

In der Wachstumsperiode des Tieres, wenn die Zellen und Zellsubstanzen noch wenig differenziert sind, passen sie sich den augenblicklichen Lebensbedingungen verhältnismässig rasch an. Bei abnormen Lebensbedingungen in dieser Periode können daher abnorme Differenzierungen eintreten, welche nicht mehr rückgängig zu machen sind, welche die weitere normale Entwicklung des Individuums verhindern, weil sie die naturgemässe Korrelation der Teile des Individuums stören. In diesem Fall muss ein frühzeitiger Tod eintreten.

Der Tod eines Tieres kann daher in ganz verschiedener Weise erfolgen. Wenn ein einziges wesentliches Organ desselben fortgesetzt seine Funktionen nicht mehr normal ausführt, so dass es den notwendigen Anforderungen nicht mehr genügt und wenn in diesem Falle nicht ein anderes Organ vikarisierend für dasselbe eintritt, so ist die Korrelation der Organe untereinander gestört, und jener Mangel muss zum Tode führen. Sind zb. die nervösen Zellen chemisch so weit verändert, dass sie nicht mehr durch die gewohnten äusseren Einflüsse gereizt werden, dass sie selber nicht mehr Organe reizen, so nehmen die Lebensfunktionen ab, und das Tier geht seinem Ende entgegen.

Sind die kontraktilen Substanzen so weit in ihrem innersten Aufbau verändert, dass sie sich nicht mehr ordnungsmässig kontrahieren, so hört der Nahrungserwerb, die mechanische Zerkleinerung der Nahrung auf. Der Mensch ist freilich im stande, durch künstliche Ernährung das Leben noch weiter zu verlängern, allein im Tierreich folgt in der Regel der Tod dem Unfähigwerden der kontraktilen Substanzen sehr bald nach. Selbstverständlich tritt der Tod sehr rasch ein, wenn die Herzmuskeln ihre Kontraktionsbewegungen nicht mehr ausführen. Auch alle übrigen wesentlichen Substanzen des tierischen Körpers können ihre notwendigen Funktionen einstellen, was den Tod des Individuums zur Folge hat. Durch Krankheit degeneriert immer die eine oder die andere Körpersubstanz; im Greisenalter sind die Substanzen bereits zu weit differenziert, also fast gar nicht mehr anpassungsfähig und somit ist das Alter für Krankheiten empfänglicher. Bei Krankheiten wird aber die Korrelation der Substanzen, der Zellen, der Organe gestört, und wenn die Störung eine genügend starke ist, beginnt die

Nekrobiose, die mit dem Tode endet. Von diesem Zeitpunkt an werden nämlich mehr lebende Zellen zersetzt, als neu gebildet.

C. *Litteratur.

(BD.) A. A. Böhm und M. v. Davidoff, Histologie des Menschen, Wiesbaden 1895 (2. Aufl. Wiesbaden 1898).
(CC.) C. Claus, Lehrbuch der Zoologie, 2. Aufl. Marburg u. Leipzig 1883.
(LE.) L. Edinger, Bau der nervösen Zentralorgane, 4. Aufl. Leipzig 1893 (5. Aufl. Leipzig 1896).
(EH.) E. Haeckel, Natürliche Schöpfungsgeschichte, 8. Aufl. Berlin 1889 (9. Aufl. Berlin 1898).
(EH_1). E. Haeckel, Anthropogenie, 4. Aufl. Leipzig 1891.
(LH.) L. Hermann, Physiologie, 11. Aufl. Berlin 1896.
(OH.) O. Hertwig, Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte, 5. Aufl. Jena 1896 (6. Aufl. Jena 1898).
(OH_1.) O. Hertwig, Die Zelle und die Gewebe I, Jena 1893.
(OH_2.) O. Hertwig, Die Zelle und die Gewebe II, Jena 1898.
(OH_3.) O. Hertwig, Zeit- und Streitfragen der Biologie I, Jena 1894.
(PP.) [P. Poirier, Traité de l'Anatomie humaine, Tome II, Paris]
(SN.) E Strasburger, F. Noll, H. Schenck, A. F. W. Schimper, Lehrbuch der Botanik, 2. Aufl. Jena 1895 (3. Aufl. Jena 1897).
(MV.) M. Verworn, Allgemeine Physiologie, 2. Aufl. Jena 1897.
(AW_2.) A. Weismann, Aeussere Einflüsse als Entwicklungsreize, Jena 1894.
(AW_6.) A. Weismann, Ueber die Dauer des Lebens, Jena 1882.
(HW.) H. Waldeyer, Naturwissenschaftl. Wochenschrift XI, Nr. 25. Berlin 1896.

Pflanzen bauen ihren Körper aus anorganischen, Tiere aus organischen Substanzen auf (MV. 143). Die Pflanzen bilden also Eiweiss durch Synthese, die Tiere benutzen dieses und haben somit eine vereinfachte Synthese (MV. 165). Unser Jahrhundert hat denn auch am Anfang die Tiere als Parasiten der Pflanzenwelt bezeichnet, nicht ganz mit Unrecht (MV. 145). Demnach bilden die parasitischen Pflanzen in gewissem Grade eine Verbindungsbrücke zwischen Pflanzenreich und Tierreich. Freilich sind die Individuen dieser verbindenden Gruppe zu keiner besonders hohen Differenzierung gelangt. Sie sind beispielsweise nicht mit Fortbewegungsorganen ausgerüstet, oder doch nur in bescheidenster Weise (Cuscuta europaea SN. 177 [175]). Sie haben kein merklich entwickeltes Nervensystem, wie die höher

differenzierten Tiere. Nur in wenig entwickelter Weise ist reizleitende Substanz in ihrem Inneren ausgebildet. Sie haben insbesondere nicht die ins Körperinnere verlegten Verdauungsorgane, keinen Mund, welcher geformte Nahrung aufnimmt; diese Differenzierung war es aber hauptsächlich, welche die höchste Entwicklung der nervösen und der kontraktilen Substanzen einleitete.

Wohl in Anbetracht der Wichtigkeit der Verlegung der verdauenden Substanzen ins Innere des Körpers hat E. Haeckel seiner Schöpfungsgeschichte des Tierreichs die Gastrula zu Grunde gelegt (EH. 493, 494 [496]). Zuerst entsteht aus der Einzelle die Vielzelle, eine kugelige Anhäufung von Zellen. Solche Cönobien von Zellen, zb. Morulaformen, kommen wirklich als freilebende Gebilde in der Natur vor, oft durch Gallerte zu einer Kugel vereinigte Zellen (EH_1. 489). Aus der Zellenkugel bildet sich die Hohlkugel, die Blastula, und aus dieser die Gastraea (EH. 498 [501]). Die ursprüngliche Gastraea ist einachsig (EH. 534 [537]), also ein Rotationsgebilde. Unter welchen mechanischen Bedingungen und aus welchen Ursachen solche von Haeckel vermutete Grundformen wirklich entstehen müssen, haben wir früher entwickelt (1 S. 90).

Wie in allen Zellenstaaten differenzieren sich die Zellen auch im tierischen Körper (EH. 269, 270 [270]); denn Zellenklumpen haben innen und aussen andere Bedingungen. Protospongia Haeckelii (Fig. 28) hat aussen Kragengeisselzellen, innen amöboide Zellen ohne Geisseln. Gelangen letztere an die Oberfläche, so verwandeln sie sich in erstere (MV. 582). Die innere Kavität einer Gastrula dient besonders der Nahrungsaufnahme, die äussere der Respiration, der Sekretion, der Reizaufnahme, weil hier ein rascherer Ausgleich mit der Aussenwelt möglich ist, während dort für die Verdauung die Zeit weniger beschränkt ist (CC. 36). Dabei versieht aber jede Zelle noch alle elementaren Funktionen des Lebens: Ernährung, Atmung, Sezernierung usf.; allerdings kann sie eine gewisse Funktion überwiegend ausführen (MV. 54), sie kann die Eigenschaft der Kontraktilität, der Reizperzeption, der Reizleitung, der Sekretion usf. als besondere Spezialität entwickelt haben, ohne daneben alle anderen den Zellen zukommenden Lebenserscheinungen einzubüssen (MV. 584). Wenn sich auch die

vielen Milliarden von Zellen, aus denen zb. der erwachsene Körper eines Wirbeltieres besteht (OH_1. 144), in ungemein verschiedene Zellen differenzieren, in Gewebs-, Muskel-, Nerven-, Sinnes-, Drüsen-, Leber-, Nieren-, Knorpel-, Knochen-, Blut-, Oberhautzellen usf., so behält doch der Kern in allen Elementar-

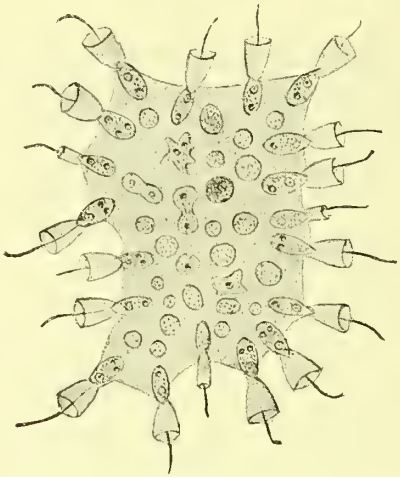


Fig. 28.
Protospongia Haeckelii. Nach Lang.

teilen desselben Organismus immer nahezu dieselbe Form und Grösse (OH_1. 279), während die Zellform selber sehr stark veränderlich ist. Es giebt Muskel- bz. Nervenfasern, welche länger als 1 dm, ja sogar länger als 1 m werden (EH_1. 108).

Ein mehrzeiliges Epithel bildet den Uebergang zu den sich in ihren Funktionen differenzierenden Zellen (vgl. BD. 60 [55]). Die Grundlage des lymphoiden Gewebes ist das retikuläre Bindegewebe (BD. 130 [122]). Das Bindegewebe ist locker, netzartig verflochten und verästelt (BD. 70 [65]). Die Zellen des fibrillären Bindegewebes sind mehrkernig und dehnen sich beträchtlich in die Länge (BD. 69 [64]). Die Zellen des retikulären Bindegewebes anastomosieren miteinander (BD. 71 [66]). Die Umwandlungsfähigkeit der Bindegewebsteile, der Bindesubstanzen ist bemerkenswert. Sehr verschiedenartige Zellen können daraus entstehen (BD. 70 [65]). Bestimmte Bindegewebszellen produzieren Fett (BD. 71 [66]). Auch das Gallertgewebe hat embryonalen Charakter (BD. 72 [67]). Die Gallertzellen können nach

allen Seiten reich verzweigte Protoplasmafortsätze aussenden (OH. 506).

Bindegewebszellen scheinen sich direkt in Stützzellen, in Knorpel- oder in Knochenzellen umzuwandeln; doch sind jene beiden Substanzen in chemischer Beziehung voneinander verschieden (BD. 70, 76, 77 [65, 71, 73]). Ferner entstehen aus denselben Sehnen, Bänder (CC. 28). Die Ablagerung von Knochensubstanz hat in gewissem Sinne Aehnlichkeit mit der Kristallbildung in einer konzentrierten Lösung. Der wachsende feste Körper bedingt die Form der Zwischenräume, welche hier für die Zellen, für die ernährenden Blutgefässe übrig bleiben (CC. 29). Anorganische Substanz lagert sich in den Fasern des Bindegewebes ab, während die Zellen des letzteren zu Knochenzellen werden (BD. 78 [73]). In Schwämmen bilden sich Kieselnadeln, welche nach F. E. Schulze in die Räume zwischen den Blasen, zwischen den blasenförmigen Hohlräumen abgeschieden werden (Fig. 29) (MV. 549). Bei vielen tierischen Individuen (zb. Arthropoden) verbinden chitinisierte Sehnen und Platten die Gliedmassen mit einem festen Skelett (CC. 361). Die Tunicaten

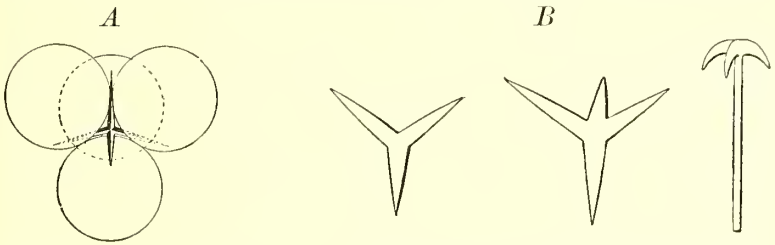


Fig. 29.

Kieselnadeln von Schwämmen. A Schema der Entstehung eines Vierstrahlers zwischen vier blasenförmigen Hohlräumen. Nach F. E. Schulze. B Verschiedene Formen von Kieselnadeln.

(Manteltiere) haben einen Mantel, in welchem Cellulose abgelagert ist, wie in den Stützzellen der Pflanzen, sie haben also „ein Cellulosekleid, eine holzartige Umhüllung“ (EH_1. 407). Ausser den festen Stützsubstanzen kennt man auch elastische, zb. die elastischen Knorpel in der Ohrmuschel, im Kehlkopf (BD. 77 [72]).

Soweit nicht die lebenden Zellen die Nahrung, welche sie nötig haben, ihren Nachbarzellen einfach entreissen, müssen sie dieselbe durch passende Hohlräume, Kanäle usf. zugeleitet er-

halten, vermittelst der transportierenden Substanzen. Es bilden sich intercellulare Räume zwischen den einzelnen Fasern aus (BD. 73 [68]). In den intercellularen Räumen befindet sich Lymphplasma, zur Ernährung der Zellen (BD. 58 [53]). Lymphplasma zirkuliert auch im ganzen System der Knochenkörperchen und der Primitivröhrchen (BD. 82 [76]), ferner in den Hornhautkörperchen, in einem Lücken-Saftkanalsystem der Hornhaut (BD. 330 [328]), in der Chorioidea (BD. 332 [330]) usf. Durch Lymphkapillaren hängen solche lymphplasmahaltende Räume mit grösseren Lymphgefässen zusammen, welche die gebrauchten Säfte sammeln und sie aus den Geweben fortführen. Mit ihnen stehen die grossen „serösen Höhlen" in Verbindung, auch die Leibeshöhle selber (EH_1. 755). Die Blutkapillaren schliessen ebenfalls an intercellulare Räume, an Blutsinus an. Bei Mollusken sind solche deutlich erkennbar (CC. 544). Aus den Blutsinus entsteht das kavernöse oder das Schwellgewebe (BD. 268 [263]). Kapillarnetze gehen in Blutsinus über (CC. 589). Blutkapillaren sind in der Grosshirnrinde besonders da sehr zahlreich und engmaschig, wo viele Ganglienzellen angehäuft sind (BD. 294 [291]); in der grauen Substanz sind dieselben viel engmaschiger als in der weissen (BD. 293 [290]). Die Blutkapillaren hängen mit grösseren arteriellen und venösen Blutgefässen zusammen und diese stehen mittelbar oder unmittelbar mit dem Herzen in Verbindung. Die Lymphdrüsen erhalten Arterien und Venen, mit zahlreichen Kapillaren (BD. 133 [125]). Reichliche Gefässe gehen besonders auch in die quergestreiften Muskeln (BD. 101 [95]. Viele Gefässe haben sg. Wundernetze, reich kapillar verzweigte Netze (BD. 268 [263]). Die Kapillaren sind oft sehr dehnbar, ihre Zellen haben gezackte Konturen (BD. 266, 268 [262, 264]).

Das Blut, welches als arterielles Blut für viele Zellen die ernährenden Stoffe herbeiführt, nimmt auch als venöses Blut die unbrauchbaren Stoffe wieder mit, bis zu deren Ausscheidung in anderen Organen (CC. 40). Bei Muscheltieren geht das venöse Blut aus mehreren Sinus teilweise durch die Nierenwandungen nach den Kiemen, kehrt als arterielles Blut zurück nach dem Herzen (CC. 551). Die Blutkörperchen im Blute des Menschen sind zum Teil flache runde Scheiben, welche sich geldrollenartig zusammenlegen können (Fig. 30), zum Teil kleinere kugelige hämoglobinhaltige Körperchen (BD. 123 [116]), auch „Blut-

plättchen", welche ausserordentlich zarte, vergängliche Gebilde sind (BD. 128 [121]). Fast alle Säuger haben runde rote Blutkörperchen, wie die Menschen. In den Embryonen derselben besitzen diese Blutkörperchen einen Kern und Teilungsfähigkeit (EH_1. 759). Sehr niedere Tiere haben noch kein Arterien-,

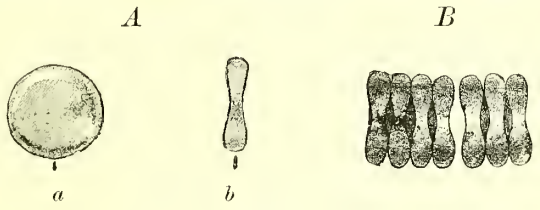


Fig. 30.

A Rote Blutkörperchen des Menschen. a von der Fläche, b von der Kante aus gesehen. B Zu sg. „Geldrollen" gruppierte rote Blutscheiben des Menschen. 1500mal vergr. Nach Böhm und v. Davidoff.

Venen- und Kapillarensystem. Ihr Blut- bz. ihre Ernährungsflüssigkeit zirkuliert dann nur in den kavernösen Räumen, welche zusammen die ganze Leibeshöhle bilden (vgl. CC. 551). Nach W. Roux haben die Blutgefässe solche Formen und Querschnitte, dass sie der Blutbewegung den geringsten Widerstand entgegensetzen (AW_2. 56).

Die wichtigsten verdauenden Zellen der höher entwickelten Tiere sind die Zellen des Darmepithels. Sie stehen mit den gelösten Nahrungsstoffen des Darmtractus in Berührung, alle übrigen Gewebezellen werden vom Blutstrom umspült, der ihnen die gelösten Nahrungsstoffe zuträgt (MV. 148). Die Darmepithelzellen haben ein gewisses Auswahlvermögen für Nahrungsstoffe. Farbstoffkörnchen werden von ihnen nicht aufgenommen, wohl aber zb. Fettkörnchen von gleicher Grösse (MV. 30). Die von den Darmepithelzellen aufgenommenen Nahrungssäfte werden von anderen Organen in Blut umgewandelt. Bei Embryonen wird die Leber, bei Erwachsenen werden die Milz und das rote Knochenmark als blutbildende Organe bezeichnet (BD. 122, 133 [115, 125]). Beim erwachsenen Menschen ist das rote Knochenmark jedenfalls die hauptsächliche Bildungsstätte der roten Blutkörperchen (BD. 139 [132]).

Der Sekretionsvorgang ist ein weit verbreiteter, und dementsprechend haben sich die sezernierenden Zellen stark differenziert. Es giebt einzellige sezernierende Organe, Drüsen-

zellen, Becherzellen (Fig. 31), welche vereinzelt im Epithel zerstreut liegen (BD. 62 [58]), aber auch viele mehrzellige Drüsen (BD. 63 [58]). Jede Drüsenzelle sezerniert ihr spezifisches Sekret. Die Speicheldrüsenzellen sezernieren das Ptyalin, die Magendrüsenzellen das Pepsin (MV. 30) und das Labferment (Chymosin) (MV. 176), die Pankreaszellen das Ptyalin und das Trypsin (MV. 112); die Leberzellen bereiten den Harnstoff, die

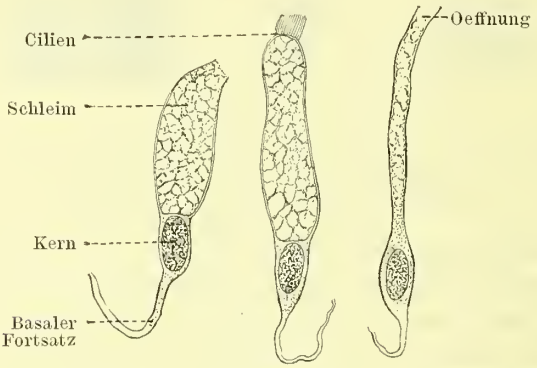


Fig. 31.

Becherzellen aus einem Bronchus des Hundes. Die mittlere Zelle ist noch im Besitz ihres Flimmerbesatzes, die rechte hat ihren Schleim bereits entleert (collabierte Becherzelle). 600mal vergr. Aus Böhm und v. Davidoff. Technik Nr. 126.

Nierenzellen scheiden ihn ab (MV. 172). Bei der Milchbildung entstehen Fetttröpfchen im Protoplasma; zuletzt zerfällt das letztere und Milch wird frei. Neue Zellen ersetzen die alten, welche zerfielen. Aehnliche Sekretionsvorgänge findet man in anderen Zellen, im Gehirn aber führen dieselben zu Gehirnerweichung, also zum Tode (MV. 336).

Die einfachsten Muskeln sind diejenigen, welche sich auf eine einzige Zelle zurückführen lassen. Gewöhnlich hängen aber mehrere derselben zusammen (CC. 306). Die Muskelfaser ist (weil sie eine Zelle ist) von einer Membran, einer Hülle umgeben, die bei der quergestreiften Muskelfaser Sarkolemm genannt wird (BD. 97 [91]); jede Muskelfaser ist von einer dünnen bindegewebigen Hülle umgeben, grössere Faserkomplexe werden durch eine dickere Scheide zusammengehalten zu einem Muskelbündel, das Muskelganze steckt wieder in einer eigenen Hülle (BD. 100 [94]).

Einerseits wird geglaubt, die Muskelfasern seien homogen, und nur physikalische Vorgänge kontrahieren dieselben; doch sind andererseits in quergestreiften Muskeln jeweilen 8 Schichten nachgewiesen (PP. 43). In allen Fibrillen einer Muskelfaser liegen dabei gleiche Schichten nebeneinander, so dass eben das gebänderte Aussehen der quergestreiften Muskelfasern daraus hervorgeht (Fig. 32). Die Muskelfasern sind trotz der vielen Kerne doch nur eine Zelle (MV. 248), sie enthalten die kon-

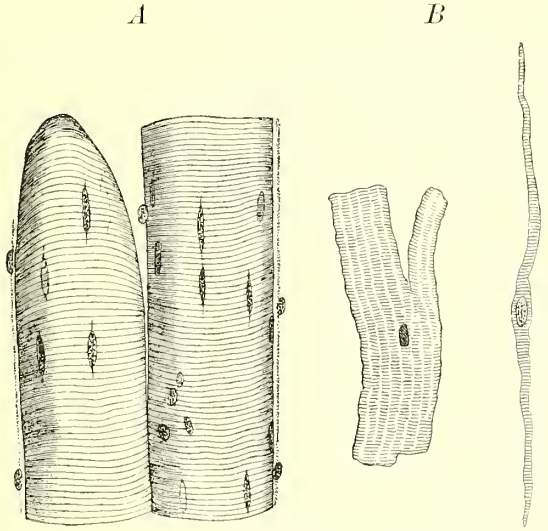


Fig. 32.

Quergestreifte Muskelfasern. A Zwei herausgeschnittene Stücke von Muskelfasern (links oben das Ende einer Faser), die Querstreifung ist deutlich zu sehen, ebenso viele spindelförmige Muskelkerne. Nach Schiefferdecker.
B Zwei einkernige quergestreifte Muskelzellen aus dem Herzen, links vom Menschen, rechts vom Frosch. Nach Disse.

traktilen Muskelfibrillen (MV. 245, 246). In den quergestreiften Muskelzellen findet man anisotrope Schichten (MV. 248), und diese lassen feste Körper, nämlich Substanzen, die aus unseren Fistellen aufgebaut sind, als die eine Substanz dieser Muskelzellen vermuten. Denn flüssig kann diese Substanz doch nicht sein (MV. 250). E. A. Schäfer fand längsgerichtete „Röhrchen" in der anisotropen Schichte (Fig. 33). Quergestreifte Muskelfasern können sehr schnell, blitzartig, zusammenschnellen; die glatten Muskelzellen kontrahieren sich träge (MV. 249). Die Herzmuskeln des Menschen, die auch quergestreift sind, können

eine enorme Arbeit leisten (MV. 251). Die Herzmuskelzellen sind kurz, zwischen ihnen liegen ab und zu Kerne des Bindegewebes (BD. 102 [96]). Die quergestreiften Muskeln, diejenigen des Herzens und der meisten übrigen inneren Organe ausgenommen, sind dem Willen unterworfen (BD. 100 [94]). Glatte Muskelfasern besitzen wir zb. im Musculus ciliaris (BD. 333 [331]).

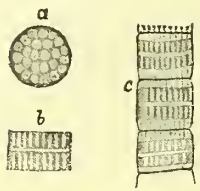


Fig. 33.

Muskelsegmente von der Wespe mit den Röhrchen der anisotropen Substanz. a Anisotrope Substanz von oben gesehen, b von der Seite, c drei Muskelsegmente. Nach Schäfer.

Bei der Muskelarbeit erscheint im Harn nicht mehr Stickstoff, als sonst. Demnach müssen bei derselben immer mindestens gleich viel Eiweissmolekeln neu gebildet, als zersetzt werden (MV. 563). Spaltungsprozesse werden aber im Muskel doch angenommen. Es müssen bei der Arbeit ganze Muskelzellen zerfallen und neu gebildet werden (BD. 101 [95]).

Bei Muskelkontraktionen läuft eine Kontraktionswelle über den Muskel hin, und zwar synchron bei den parallelen Streifen quergestreifter Muskeln (MV. 248). Reize pflanzen sich wellenförmig längs der Muskeln fort (PP. 46).

In seiner Kontraktionsphase vermag der Muskel einen elektrischen Strom zu liefern. Stromwechsel bringen Muskelzuckungen hervor. Durch irgend eine Reizung erregt nimmt der sonst neutrale oder alkalische Muskel saure Reaktion an (MV. 432). Bemerkenswert ist noch eine Eigenschaft der elektrischen Leitungsfähigkeit von Muskelfasern. Diese leiten nämlich schon in der Längsrichtung sehr schlecht, aber senkrecht zur Längsrichtung noch 9mal schlechter (LH. 302). Bei seiner Thätigkeit wird durch genaue thermoelektrische Messungen eine Wärmeproduktion im Muskel nachgewiesen (MV. 432).

Wohl überall sind eigene Sinneszellen als Aufnahmeorgane vorhanden. Entweder sind sie einfacher oder komplizierter gestaltet. Die verschiedenen Sinneszellen sind den verschiedenen Reizarten angepasst. Dieselben befinden sich im Ektoderm oder sind doch aus diesem entstanden (CC. 197). In der Haut befinden sich die Tastkörperchen und andere sensible Nervenendigungen (BD. 308—310 [306—308]). Für die Schallempfindung besitzen wir eigene hochempfindliche Organe. Vermutlich

müssen diejenigen Insekten, welche selber Töne hervorbringen, auch eine Schallempfindung haben (CC. 481). Sie werden also Sinnesorgane besitzen, welche das Summen bei der Annäherung eines gleichartigen, mit gleichen Tönen fliegenden Tieres ankündigen. Sowohl der Grundton, als auch sämtliche möglichen Obertöne und Nebengeräusche werden wohl in der Regel aufgenommen und bei allen Individuen der Art werden sie annähernd gleich sein, damit diese sich gegenseitig daran erkennen. Auch feindliche Tiere mögen mit diesen Organen bei ihrer Annäherung erkannt werden; vielleicht stehen die von einigen Insekten mit eigentümlichen Stimmorganen produzierten Töne auch mit der Abwehr feindlicher Angriffe in Beziehung (CC. 495).

Bei manchen Tieren kennt man Augen, von denen man annimmt, dass sie den bt. Individuen nicht zum Sehen dienen können (EH. 13). Beim Olm in den Adelsberger Grotten, auch bei Regenwürmern und anderen Tieren, welchen Augen fehlen, reagiert die ganze Oberfläche des Körpers auf Lichtreize (MV. 402). Bei höheren Tieren ist diese Lichtreizbarkeit der ganzen Körperoberfläche kaum noch merklich; bei Pflanzen und bei Protisten ist dieselbe dagegen sehr verbreitet. Indessen wäre es doch kaum statthaft, anzunehmen, jenen mit den Augen nicht „sehenden“ Tieren nützen die Augen absolut nichts, welche sie besitzen. Vielleicht sind dieselben für ganz andere Wellenlängen empfindlich, als für diejenigen, welche wir selber wahrnehmen. Oder sie reagieren auf ganz bestimmte Lichtzusammensetzungen, welche die bt. Art selber ausstrahlt. Oder die Augen sind im Lauf der Zeit in ganz andere Sinnesorgane umgewandelt worden, welche ihnen unter den äusseren Verhältnissen, unter denen sie sich befanden, nützlicher waren als die Augen.

Im Auge besitzen die höher entwickelten Tiere einen überaus kunstvoll aufgebauten Apparat, welcher ihnen scharfe Bilder liefert von den Gegenständen der Aussenwelt. In den Zellen der Retina müssen sich bei Lichteindrücken Stoffwechselvorgänge abspielen (MV. 404). Die Zellen, welche durch Lichteindrücke gereizt werden, sind von zweierlei Art, teils Stäbchen, welche nach M. Schultze namentlich auf hell und dunkel, teils Zapfen, welche hauptsächlich auf Farben reagieren (LH. 577). Nach der Young-Helmholtz'schen Theorie können wir mit der Wahrnehmbarkeit dreier Grundfarben für das Sehen aller

anderen Farben auskommen (LH. 575). Die Zapfen müssen demnach nur für drei Lichtwellenlängen empfindlich sein, um alle Farbenreize aufnehmen und zum Gehirn übertragen zu können. Bei der Kompliziertheit der zusammengesetzteren organischen Stoffe ist es sicher, dass eine und dieselbe Substanz diese drei Grundschwingungsarten aufzunehmen und fortzuleiten im stande ist. Denn einer solchen Substanz entspricht nicht eine einzige, sondern es entsprechen ihr, je nach ihrem Bau, 10, 100, 1000, und noch viel mehr Eigenschwingungsperioden. Dennoch ist es nicht unmöglich, dass für jede der drei Grundfarben jedes Zapfens zum mindesten eine eigene Fibrille eines Nervs zum Gehirn verlaufe und dorthin die Wirkung melde. Wenn nämlich eine einzige Substanz alle drei Grundfarben gleichzeitig melden muss und wenn sie solches überdies noch in jeder beliebigen Intensitätsabstufung aller Grundfarben auszuführen im stande sein soll, um alle Nüancen richtig wiederzugeben, so müssen doch im Inneren einer solchen Substanz die am stärksten angeregten teilweise in andere weniger ausgeprägte Eigenschwingungen sich verwandeln. Dadurch werden aus einer Grundfarbe stets die beiden anderen Grundfarben erzeugt, im Inneren des aufnehmenden bz. des reizleitenden Organs. Man muss also annehmen, dass Grundfarben reiner aufgenommen und präziser einmal wie das andere Mal zu einer bestimmten Mischfarbe zusammengesetzt werden, wenn in jedem Zapfen mindestens drei verschiedene Fibrillen da sind, für die Aufnahme und Uebertragung jeder der drei Grundfarben, als wenn nur eine einzige Fibrille, eine einzige Substanz, alle drei Wirkungen zu übertragen hat.

Der einfachste Fall der Reizleitung ist der, dass eine Zelle in der Epidermis sich wie eine Ganglienzelle verhält und den Reiz selber zentripetal zum Zentralorgan leitet. Komplizierter ist der Fall, dass der Körper der reizleitenden Zelle in die zweite Schicht rückt und nur einen Fortsatz (Dendrit) in der Epidermis lässt. Die Geruchsorgane der höheren Tiere sind in dieser Art aufgebaut (BD. 375, 376 [373]). Noch kompliziertere Uebertragungen findet man bei den höheren Sinnesorganen (BD. 376 [374]). Es finden sich zb. viele Ganglienzellen in der Retina des Auges (BD. 338 [336]). Gewisse Nervenzellen verbinden die Zapfen, andere die Stäbchen der Retina untereinander

(BD. 342 [340]), wieder andere stellen zwischen Stäbchen und Zapfen Kontakt her (BD. 344). Im Sehnerv finden sich zentripetale und zentrifugale Nervenfasern (BD. 344 [342]). Nach v. Monakow stammt die Mehrzahl der Sehnervenfasern nicht aus Zellen des Gehirns, sondern aus den grossen Ganglienzellen der Retina. Die Neuriten dieser Zellen splittern sich aber im Gehirn auf (Fig. 34). Andere Opticusfasern entspringen dagegen

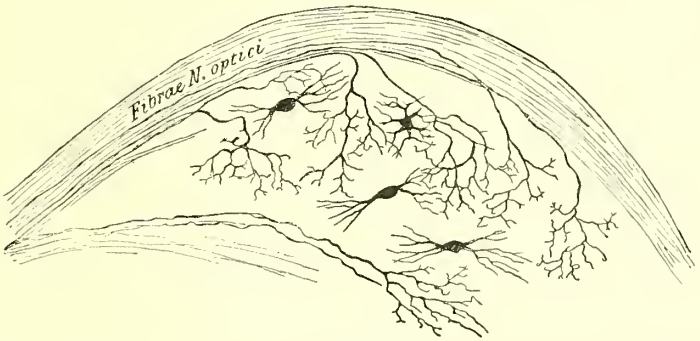


Fig. 34.

Schnitt durch das Corpus geniculatum laterale der Katze. Versilberung. Einstrahlen der Opticusfasern und Auflösen derselben in Pinsel. Nach P. Ramon y Cajal.

im Gehirn (LE. 113 [269, 270]). Manche Forscher sind der Ansicht, die Sehnerven seien wie die Riechnerven umgewandelte Hirnteile (OH. 444).

Kaum weniger kompliziert als das Auge ist das Ohr höherer Tiere gebaut. Besonders das Ohr des Menschen nimmt nicht nur alle Töne auf und unterscheidet sie genau, es kann auch ganze Tongemische in ihre einzelnen Bestandteile auflösen. Ein Teil des Ohrs muss darauf eingerichtet sein, die verschiedensten Geräusche aufzunehmen und in ihre Bestandteile zu zerlegen. Die Schnelligkeit der Reizaufnahme ist dabei eine ungemein grosse. Nur so ist es verständlich, dass die überaus zahlreichen verschiedenen Schwingungszustände, welche bei der Sprache in kürzesten Zeitintervallen wahrgenommen werden müssen, alle in geordneter Weise ins Gehirn übertragen werden. Einen Teil des Ohrs, bei Wirbeltieren im Labyrinth liegend, hat man in neuerer Zeit sogar für einen sechsten Sinn, für den „statischen Sinn", in Anspruch genommen.

In den Epithelien sind (mit wenigen Ausnahmen) keine

Blut- und Lymphgefässe, aber Nerven (BD. 58 [53]). Ausser den Tastkörperchen finden sich in denselben die Geschmacksknospen und die Geruchsknospen (BD. 161, 374 [152, 371]). Die Riechzelle ist eine periphere Ganglienzelle, deren zentripetaler Fortsatz ein Neurit ist (BD. 285 [281]); jeweilen viele Riechzellen führen zu einem Riech-Glomerulus und also zu einer Ganglienzelle (LE. 60 [206]). Die Menschen haben verkümmerte, viele Tiere, wie die Hunde, weit besser entwickelte Riechlappen. Ueberaus stark ausgebildet sind die Riechlappen des Hais (OH. 428). Die erhöhte Ausbildung des Riechapparates bei Tieren hat auch an ganz anderen Stellen als im Riechlappen des Gehirns erhöhte Entwicklung von Zellengruppen und -Fasern im Gefolge (LE. 58 [204]).

Nach Joh. Müllers Lehre von der specifischen Energie der Sinnesnerven oder der Sinnesorgane rufen die verschiedensten Reize, welche auf dasselbe Sinnesorgan ausgeübt werden, immer nur eine und dieselbe Art der Empfindung hervor. Ob wir also den Sehnerv reizen durch mechanische, thermische, optische, elektrische, chemische Einwirkungen, stets bringt derselbe, wenn er stark genug gereizt worden ist, nur eine Lichterscheinung zur Empfindung. Unter gleichen Umständen bringt der Hörnerv einen Ton zur Empfindung, und wenn es uns gelänge, diejenige Fibrille isoliert zu reizen, welche einen ganz bestimmten Ton zum Gehirn leitet, so würde jeder von jenen Reizen immer nur diesen einen Ton zur Empfindung bringen. Riechnerven werden stets nur Geruchsempfindungen, Geschmacksnerven nur Geschmacksempfindungen, Tastnerven nur Tastempfindungen hervorrufen können (MV. 22).

Die Reizleitung ist im allgemeinen rascher im tierischen als im pflanzlichen Körper bz. Protoplasma (OH_1. 77). Durch Lymphe und Blut werden die als Reiz wirkenden Substanzen bald hier- bald dorthin fortgeleitet (OH_2. 163). Alle tierischen Zellen sind nach Hansen an Nerven angeschlossen (OH. 432). Demnach sind die Nervenfasern höherer Wirbeltiere zwischen allen Gewebezellen ungemein fein verzweigt, so dass es nur beim Muskel allein möglich ist, ihn von den Wirkungen seines Nervs zu befreien (durch „Curare“) (MV. 417). Nerven- und Ganglienzellen und Nervenfasern sind die Nervenelemente. Die Zellen erhalten bei der Bildung meist vielfache Fortsätze, sowohl

verästelte, als unverästelte, Dendriten und Neuriten (BD. 105 [98]). Die Dendriten der Ganglienzellen scheinen die Reizimpulse aufzunehmen, während der Nervenfortsatz (Neurit) dieselben von einer Ganglienzelle her auf die Dendriten einer anderen überträgt (MV. 589). Beide Ausläufer der Ganglienzellen, Dendrit und Neurit, sind aber gar nicht etwas absolut und prinzipiell verschiedenes (LE. 24, 25 [22]). Die fibrilläre Struktur der meist grossen Nervenzellen lässt sich bis in die Fortsätze hinein verfolgen: zahlreiche Knötchen sind auf den Fasern sichtbar,

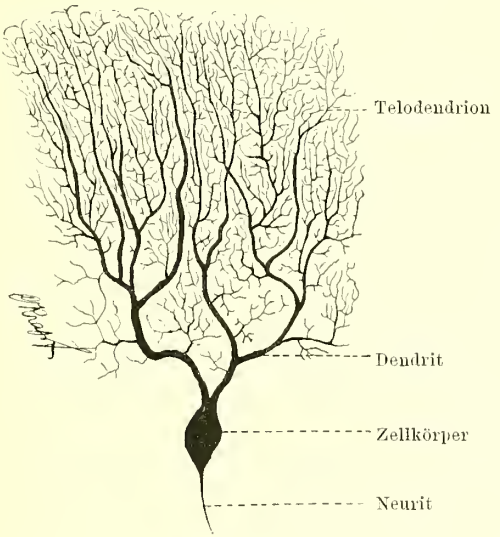


Fig. 35.

Eine Ganglienzelle (Purkinje'sche Zelle) aus der Kleinhirnrinde des Kaninchens mit baumförmigen Dendriten. Chromsilbermethode. 125mal vergr. Nach Böhm und v. Davidoff.

immer stärker wird die Verzweigung. Die Endästchen laufen spitz aus oder in Knötchen. Sie bilden in ihrer Gesamtheit die Endbäumchen, Telodendrien (BD. 105 [99]). Die Form der Telodendrien ist eine sehr mannigfaltige (Fig. 35) (BD. 108 [101]). Meist ist der Verlauf der Nervenfasern bis zur Peripherie ein unverzweigter, hier beginnt dann erst die Verzweigung (BD. 112 [107]). Nerventelodendrien reichen bis in das Epithel der Mundschleimhaut (BD. 151 [142]). Verschiedene Nerven hängen niemals an ihren Telodendrien direkt zusammen, es bestehen nur Kontaktwirkungen zwischen den letzteren (LE. 74 [222], MV. 591,

BD. 108, 109 [101]). Indessen sehen wir die feinsten Fasern nicht (I S. 81) und diese werden überdies durch die chemischen Behandlungsweisen in der Regel total verändert.

Wohl alle Nerven besitzen dickere oder dünnere einhüllende Membranen. Bei den feinsten Nerven sehen wir solche Hüllen nicht (BD. 109—113 [104—108]). Oft kann man aber dicke bindegewebige Nervenscheiden erkennen (Fig. 36) (BD. 113 [108]).

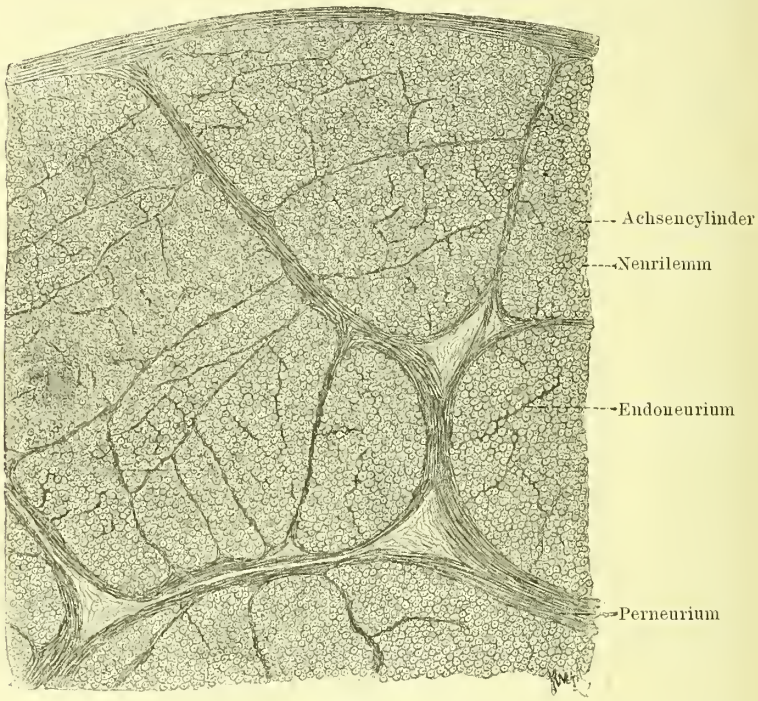


Fig. 36.

Teil eines Querschnitts durch einen mit Alkohol behandelten peripheren Nerven; die kleinen Kreise sind die Querschnitte markhaltiger Nervenfasern, man sieht die als „Punkte" erscheinenden Durchschnitte der „Achsencylinder". Durch Bindegewebe wird der Nerv in grössere und kleinere Bündel zerlegt. 75mal vergr. Nach Böhm und v. Davidoff.

Der Achsencylinder solcher Nervenfasern ist aus zahlreichen Einzelfäserchen gebildet (LE. 21 [21]). Nur der Achsencylinder leitet, weil die Hüllen desselben an den Enden des ganzen „Neurons" verschwinden. Markscheiden und Schwannsche Scheiden, welche den Achsencylinder umgeben, sind also nur Schutzhüllen desselben (HW. 299).

Je nach der Endigung eines Nervs in diesem oder in jenem Organ unterscheidet man sensible oder motorische Nerven; letztere enden nur in Muskeln, erstere sind nahezu überall verbreitet, besonders auch mit anderen Zellen kombiniert (BD. 112 [107]). Eine sehr einfache Reizübertragung auf einen Muskel finden wir bei Poteriodendron (Fig. 37). Der Geisselfaden G, welcher sehr sensibel ist, überträgt den Reiz zentripetal zum Zellkörper, von hier zentrifugal zum Myoidfaden M, welcher sich sofort zusammenzieht, blitzschnell (MV. 586). Cölenteraten verhalten sich ähnlich. Im Nervensystem der Tiere sind aber im einfachsten Falle 3, bei Wirbeltieren mindestens 4 Zellen für eine solche Uebertragung nötig (MV. 586). Sensible und motorische Neuren werden im Zentralnervensystem durch Reflexbogen miteinander verbunden (BD. 287 [284]). Die Telodendrien der zu gestreiften Muskelfasern führenden Nerven endigen unter dem Sarkolemm (der Scheide) dieser Muskeln, an gewissen Sohlenplatten. Kurze Muskelfasern haben eine, lange sicher zwei solche Platten mit Telodendrien; aber bis zu drei Muskelfasern werden von einer Nervenfaser innerviert. Auch an der Uebergangsstelle der Muskelfasern in die Sehnen und an den Sehnen selber sind Nervenendigungen gefunden worden (BD. 114 [108—110]). Die peripheren Nerven führen motorische und sensible Fasern gemischt (LE. 142 [310]).

Fig. 37.
Primitiver Reflexbogen an der einzelnen Zelle, an Poteriodendron, einer Flagellatenzelle, welche in einer kelchförmigen Hülle auf einem Myoidfaden befestigt ist. Nach Verworn.

Ein eigenes, vom Gehirn mehr oder weniger unabhängiges, das sympathische Nervensystem, versorgt den Darmkanal (BD. 175 [166]) und ausserdem noch viele innere Organe, welche zweckmässiger funktionieren, wenn sie dem Willen des Individuums entzogen sind. Sympathische Ganglienzellen findet man im Pankreas (BD. 202 [195]), im Ovarium (BD. 242 [236], an Gefässen (BD. 262 [258]). Ganglienzellen sind am Kehlkopf (BD. 210 [202]), in der Leber (BD. 197 [189], in der Lunge nachgewiesen worden (BD. 216 [207]). Merkwürdig ist auch der grosse Reichtum der Marksubstanz der Nebennieren an Ganglienzellen des sympathischen Typus (BD. 232 [224]).

Die Ganglien sind oft grosse Ansammlungen von Nerven-

zellkernen, und in diesem Sinne müssen sie als nervöse Zentralorgane aufgefasst werden (CC. 363). Wahrscheinlich der langsamen Bewegung der Mollusken entsprechend sind ihre Ganglien im Körper verteilt (CC. 543). Die grösste Ansammlung von Ganglien und Nervenzellen findet man im Gehirn und Rücken-

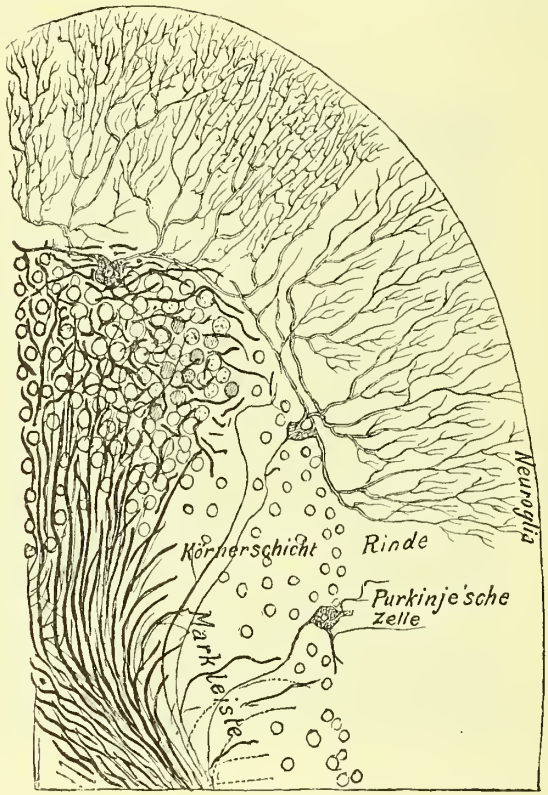


Fig. 38

Schnitt durch die Rindenschicht des Cerebellum. Färbung mit Hämatoxylinkupferlack. Nach L. Edinger.

mark. Hier bilden die verzweigten Nervenenden, besonders in der grauen Hirnsubstanz, ein dichtes, nur zum kleinsten Teil entwirrbares Filz- oder Flechtwerk (Fig. 38) (BD. 105). Einzelne Nervenfasern werden als Moosfasern, andere als Kletterfasern (Fig. 39) bezeichnet (BD. 281 [277]). Ganglienzellen werden von gewissen Telodendrien umsponnen (BD. 286 [283]). Sternförmige Zellen umspinnen mit den Collateralen ihrer Neu-

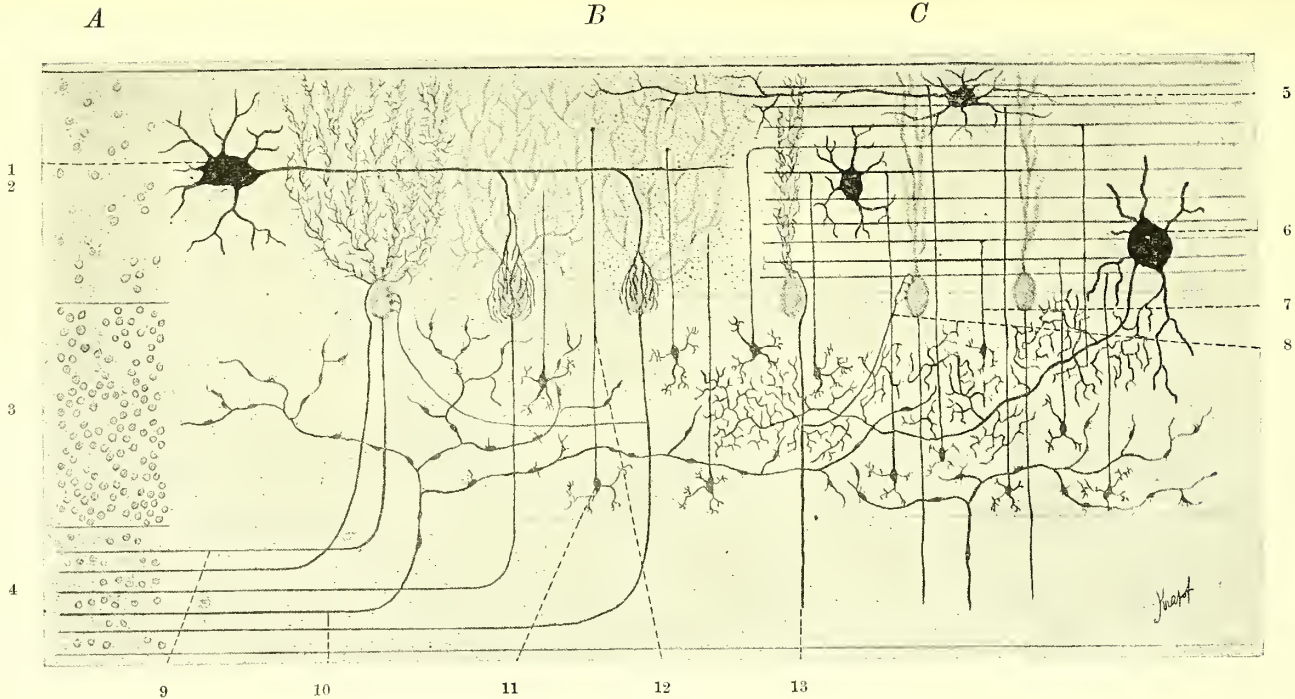


Fig. 39.

Schema der Kleinhirnrinde. A bei gewöhnlicher Kernfärbung, unter Weglassung der Purkinje'schen Zellen. B senkrecht auf die Windung. C Längsschnitt durch die Windung. B und C mit Chromsilbermethode. Nach Böhm und v. Davidoff.
1 Sternförmige Zelle. 2 Molekuläre Schicht. 3 Körnerschicht. 4 Marksubstanz. 5 Sternförmige Zelle. 6 Grosse sternförmige Zelle. 7 Neurit einer Körnerzelle. 8 Telodendrion einer Collaterale einer Kletterfaser. 9 Neurit der Purkinje'schen Zelle. 10 Moosfaser. 11 Körnerzelle. 12 Neurit der Körnerzelle. 13 Kletterfasern.

riten die Körnerzellen; Collateralen der Kletterfasern erstrecken sich bis zu den Purkinje'schen Zellen (BD. 281 [277]). Die Pyramidenzellen der Hirnrinde werden insbesondere als psychische Zellen aufgefasst (BD. 288 [285]); sie enden mit ihren Dendriten in der äussersten Rindenschicht (LE. 73 [220]). Ausserdem unterscheidet man noch polygonale Zellen (LE. 71 [218, 219]), Associationszellen (LE. 78 [226]), multipolare Zellen (LE. 162 [333]). Die Verzweigung der Dendriten vieler solcher Zellen ist eine so überaus reichliche, dass genügend Gelegenheit zu Kontakten gegeben ist, mehr als die kühnsten Psychologen je sich träumen liessen (LE. 74 [222]). Von der Mannigfaltigkeit dieser Verzweigungen hängt die grössere oder geringere Entwicklung der Gehirnwindungen ab. Im Reichtum ihrer Windungen nähern sich die Gehirne der Raubtiere und der Affen denjenigen der Menschen (OH. 427).

Man ist dazu gelangt, gewisse Stellen des Gehirns als die Ursprungsorte ganz bestimmter Nervenfunktionen zu bezeichnen. Bei niederen Wirbeltieren entspringt der Sehnerv mehr in den Vierhügeln, bei höheren, bei dem Menschen, mehr und mehr in der Rindenschicht (LE. 112 [268, 269]). Es ist bei den Bündeln der Nervenfasern die Pyramidenbahn als die Bahn der motorischen Nerven nachgewiesen worden (LE. 84, [235, 240]). Das wichtige „Klangbild der Sprache" soll im Schläfenlappen lokalisiert sein (LE. 81 [230]). Die entsprechenden Fasern verlaufen in der Sprachbahn (LE. 84 [235]).

Die Ganglienzellen von Gehirn und Rückenmark haben eine sehr lange Lebensdauer. Ihr Ersatz wird zum Teil als unmöglich betrachtet. Dennoch ist die Hirn- und Rückenmarksubstanz äusserst zersetzlich (LH. 470), wie übrigens auch bei der Nervensubstanz im allgemeinen schon hervorgehoben worden ist. Die Nerven besitzen wie die Muskeln ein verhältnismässig geringes elektrisches Leitungsvermögen (LH. 391). Jede verletzte Stelle einer Pflanze oder eines Tieres, namentlich eines Nervs ist elektrisch negativ gegen eine entsprechende unversehrte Oberfläche (LH. 305). Nach Mendelssohn zeigen Nerven, welche herausgeschnitten wurden, bei Ableitung beider Querschnitte elektrische Ströme, welche der Nervenleitung selber gerade entgegengesetzt verlaufen (MV. 271). Solche Ströme werden bekanntlich auch an Froschschenkeln nachgewiesen. Wird der frisch präparierte

Nerv eines Froschschenkels an seinem freien Ende mit dem Muskelfleisch in Berührung gebracht, so zuckt der Muskel (MV. 267). Hermann hat gezeigt, dass auch frei präparierte Froschmuskeln Sauerstoff brauchen, um erregbar zu bleiben; ohne solchen verlieren sie in einiger Zeit ihre Wirksamkeit (MV. 290). Sonst kann ein Froschschenkel in dieser Beziehung tagelang wirksam bleiben (MV. 137). Nach Hermanns Differenztheorie kommen Gewebsströme, Muskelströme usf. nur zu stande, wenn die beiden bt. Muskelstellen ungleiche (chemische) Prozesse durchmachen, zb. bei einseitigem Erwärmen, oder beim Absterben nach Verletzungen (MV. 271).

Bemerkenswert ist die in hervorragender Weise ausgebildete Fähigkeit gewisser Tiere, Elektrizität oder Licht zu erregen. Das elektrische Organ des Torpedo (Fig. 40) erinnert etwas an die quergestreiften Muskeln. Es scheint die Aehnlichkeit mehr

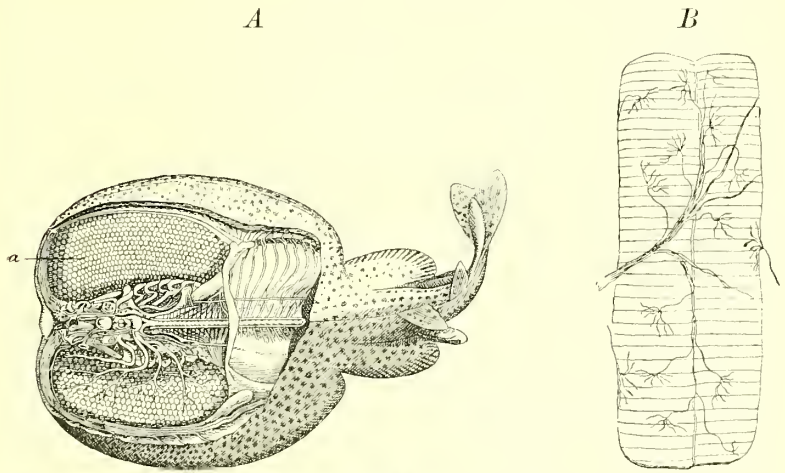


Fig. 40.

A Torpedo marmoratus (Zitterrochen). Die Haut ist zum Teil weggeschnitten, damit das elektrische Organ a sichtbar wird, das aus lauter einzelnen polygonalen Säulchen besteht, die hier vom Querschnitt aus gesehen sind. Nach Rauvier.
B Zwei elektrische Säulchen von der Längsseite mit den sich darauf verzweigenden elektrischen Nerven von Torpedo. Nach R. Wagner.

eine äussere zu sein, da die elektrischen Organe bei Ausübung ihrer Wirkungen keine Formänderung erfahren, was bei den Muskeln der Fall ist. Und doch entwickelt sich bei den halb elektrischen Fischen Raja clavata direkt aus quergestreiften Muskeln, unter Einbusse des Kontraktionsvermögens, das elek-

trische Organ. Die Zuckungen und die Ströme dieser Organe sind beide nur sehr kurz dauernd (MV. 274).

Fast alle pelagischen Tiere haben die Fähigkeit des Leuchtens. Die Leuchtfähigkeit der lebendigen Substanz ist vielleicht viel weiter verbreitet, als wir es wissen. Möglicherweise ist in uns selbst solche vorhanden (MV. 257). Es leuchten auch gewisse Pilze (Agaricus), Insekten (Elater, Lampyris usf.) (MV. 258). Das Spektrum des Leuchtkäferlichtes zeigt besonders intensives Grün, aber nur schwaches Rot und Violett (MV. 258). Das Leuchten nehmen wir selbstverständlich nachts leichter wahr als am Tage. In vielen Fällen mögen die bt. Tiere nachts mehr auf Raub und Nahrungssuche ausgehen. Sauerstoffzufuhr ist zum Leuchten jedenfalls nötig, Kohlensäureabgabe ist dabei zum Teil nachgewiesen (MV. 259). Somit sind zweifellos die Lebensvorgänge während des Leuchtens besonders heftige, energische. Durch Reize, namentlich durch mechanische Reize kann man die Lichtproduktion pelagischer Tiere künstlich erregen. Deshalb leuchten diejenigen pelagischen Tiere besonders stark, welche von Wellenschlägen der an ihnen vorbeifahrenden Schiffe getroffen worden sind (MV. 389).

Im tierischen Körper sind einerseits Fermente, andererseits Synbionten vielfach vertreten. Im Blut höherer Tiere haben besonders die weissen Blutkörperchen, die Leukocyten, grösste Bedeutung. Dieselben sind kernhaltig, amöboid beweglich; sie vollführen auf einem geheizten Objekttisch die lebhaftesten amöboiden Bewegungen, wenn ihre Kerne polymorph sind (BD. 126, 127 [118, 119]). Die weissen Blutkörperchen scheinen von einer indifferenten Zellform abzustammen; sie sind echte Wanderzellen, kriechen durch feinste Kapillaren und durch Gefässwandungen hindurch (BD. 127 [119, 120]), wohl mittels Auflösens derselben (BD. 129 [122]). Sie vermehren sich in den Maschen des adenoiden Gewebes der Lymphdrüsen, in den Fleming'schen Keimzentren, vielleicht aus den Lymphocyten, die aber bislang keine mitotische Kernteilung erkennen liessen; sie wirken resorbierend (BD. 128 [120]). Sie suchen insbesondere Bakterien auf, die dem Körper schädlich sind, und fressen dieselben auf (Fig. 41). Leukocyten fressen auch degenerierte oder sonst unbrauchbar gewordene Zellen, beispielsweise die degenerierenden Teile in Fliegenmaden (MV. 437).

Zwischen den einzelnen Zellen bestehen Verbindungen, die benachbarten Zellen gehen in den meisten Fällen durch protoplasmatische Verbindungen ineinander über (OH_3. 136). Zarte Protoplasmafäden dringen auch in die feinsten Poren der Cuticula hinein (OH_1. 139). Vermöge dieser Verbindungen, welche wir zum Teil als reizleitende gedeutet haben, und vermöge des Nervensystems wird die Korrelation der Organe untereinander hergestellt, welche in französischen Lehrbüchern mit dem Namen „balancement des organes“ bezeichnet wird (CC. 39). Ein komplizierter Nervenmechanismus muss bestehen für die Umwandlung des Winterkleides in das Sommerkleid, welcher man bei vielen Vertebraten begegnet (AW_2. 20), und ebenso für das Hochzeitskleid vieler Tiere, für den Winterschlaf usf.

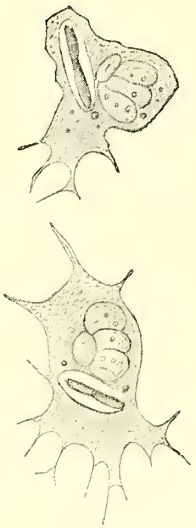


Fig. 41

Ein Leukocyt des Frosches, in dem ein Bakterium eingeschlossen ist und verdaut wird. Das Bakterium durch Vesuvin gefärbt. Die beiden Figuren repräsentieren zwei Stadien der Bewegung ein und derselben Zelle. Nach Metschnikoff. (Fig. 54.)

Der tierische Körper entwickelt sich, im Gegensatze zum pflanzlichen, vorzugsweise in seinem Inneren, er wird innen immer komplizierter (OH_3. 107). Die obersten Epidermisschichten verhornen und werden abgestossen, nur untere Schichten wuchern und ersetzen sie (CC. 23). Epithelien senken sich in die tieferen Gewebe ein und bilden Drüsen (CC. 25). Steht die Teilungsebene der Zellen senkrecht zur Drüsenachse, so bedingt die Zellvermehrung eine Drüsenverlängerung (BD. 185 [176]). In der Regel werden wohl die Zellen bz. die Organe, welche aus ihnen aufgebaut werden, dahin sich ausbreiten, wo ihnen Nahrung zum Wachstum geboten wird. Die Richtung, nach welcher die Ausbreitung erfolgt, giebt also in solchen Fällen zugleich die Richtung an, von welcher die zum Wachstum notwendige Nahrung herbeigeleitet wird. An äusseren Epithelialflächen bilden sich Cuticularschichten, an inneren Cilien aus. Die äusseren Zellen werden mehr zu Sinneszellen, die inneren mehr zu Ernährungszellen. Der Kern lagert sich vorzugsweise innen an (BD. 57 [51]). In mehrschichtigen Epithelien sterben an einer

Stelle (aussen) Zellen ab, an anderen (innen) werden sie neu erzeugt (Fig. 42) (BD. 61 [56]).

Die Lokomotion haben die Tiere erworben, teils zum Zwecke des Nahrungserwerbes, teils um Angriffen zu entgehen (CC. 62). Automatische Bewegungen einzelner Organe findet man überall im Tierreich. Vakuolen kontrahieren sich periodisch, je nach ihrer Grösse 1—14 mal in zwei Minuten (OH_1. 71). Vielfach findet man flimmernde Epithelien im Inneren tierischer Körper (BD. 60 [54]). Die Flimmerhaare schlagen noch, wenn nur ein Tröpfchen Protoplasma an ihnen hängt, rhythmisch weiter bis zum Tode. Ein Schnitt durch die Membran, aus welcher die Flimmern heraustreten, ändert den Rhythmus zu beiden Seiten (Fig. 43) (MV. 579). Bei den Flügelmuskeln mancher Insekten, zb. der Mücken, können 300—400 Kontraktionen in einer Sekunde ausgeführt werden (MV. 251). Wie die Herzbewegung sich aus kleinen Anfängen, aus einer einfachen zu einer kompli-

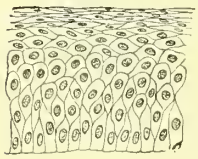


Fig. 42.

Schema eines mehrschichtigen Plattenepithels. Nach Böhm und v. Davidoff.

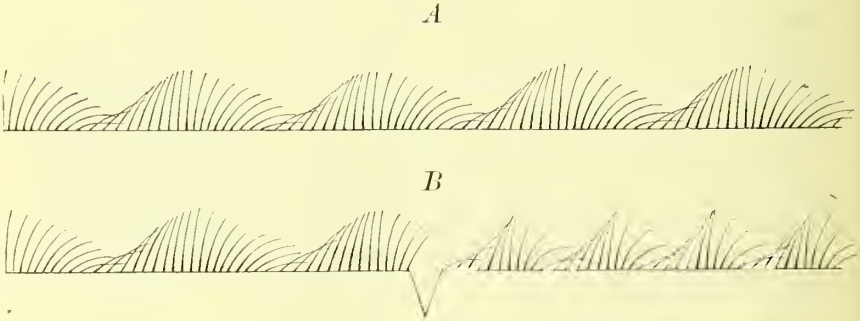


Fig. 43.

A Intakte Wimperreihe mit ungestörter Metachronie des Schlages. Die oberste (linke) Wimper giebt den Rhythmus an, und die übrigen folgen in demselben Rhythmus nach. B eine Wimperreihe, die in der Mitte durch einen Einschnitt in zwei Hälften getrennt ist. Jede Hälfte schlägt in eigenem Rhythmus. Nach Verworn.

zierten Bewegung entwickelt hat, erkennt man daraus, dass bei gewissen Tieren pulsierende Lymphherzen (CC. 698), beim Amphioxus dünne, röhrenförmige Blutgefässe getroffen werden, welche durch ihr Pulsieren den einfachsten Blutkreislauf zu stande bringen (EH_1. 398). Auch bei anderen Tieren findet

man pulsierende Gefässe für den Blutkreislauf (CC. 271), sodann schlauchförmige Kiemenherzen (CC. 334). Das Herz kann ein gestrecktes Rückengefäss sein mit zahlreichen Spalten (CC. 373). Ausser dem unpaaren Herzen können noch pulsierende Kiemenherzen (CC. 589), sg. Nebenherzen vorkommen (CC. 665). Das Herz ist wegen der grossen Arbeitsleistung, welche von ihm verlangt wird, sehr gut mit Muskeln, mit Blutgefässen und Kapillaren derselben ausgestattet. Die Blutgefässkapillaren des Myokards sind sehr zahlreich und um die Muskelbündel dicht gedrängt, so dass jede Muskelzelle mit Kapillaren in Berührung kommt. Im linken Ventrikel ist die äussere Muskelschicht viel stärker entwickelt, als im rechten (BD. 262 [257, 258]). Diese Anordnung entspricht der nicht vollkommen gleichmässigen Kontraktion der rechten und der linken Herzhälfte. Bei kleinen Tieren können die Herzpulsationen äusserst rasch sein (CC. 374), bei grösseren sind sie entsprechend langsamer. Biedermann erhielt rhythmische Zuckungen am Musculus sartorius des Frosches, bei 3—10° C., wenn derselbe in gewisse Salzlösungen eintauchte. Sonst werden solche, dem Herzmuskel ähnliche Kontraktionen an diesem Muskel nicht beobachtet (MV. 374).

Die Regenerationsfähigkeit ist besonders bei der Hydra, einem Süsswasserpolyp, stark ausgebildet. Man kann eine vollständige Teilung der Hydra vornehmen. Jeder von zahlreichen Teilen ergänzt sich wieder zu einem ganzen Tier (MV. 60). Aus einem einzelnen Arm, welcher einem Seestern abgeschnitten wird, regeneriert sich das ganze Tier, mit allen Sinnesorganen usf. (CC. 258). Der Salamander regeneriert den abgeschnittenen Schwanz oder Fuss, die Schnecke die abgeschnittenen Fühler und Augen (AW_6. 37). Bei Landschnecken kann nach Carrière sogar ein Teil des Kopfes wieder von neuem gebildet werden, wenn er abgeschnitten worden war (AW_6. 93).

Bei übermässiger Beanspruchung lebender Substanz tritt zuerst Ermüdung derselben ein, dann Lähmung und zuletzt Tod. Die Skelettmuskelermüdung ist sehr leicht nachzuweisen (MV. 466). An ermüdeten Flugmuskeln von Fliegen findet man mikroskopische Veränderungen (Fig. 44) (MV. 469), ebenso an Ganglienzellen. Die Zellkerne werden ganz besonders stark verändert, zb. in den Zellen der Brachialganglien, welche die Flugmuskeln des Sperlings innervieren (MV. 470). Der aus-

geschnittene Froschmuskel ist gleichfalls der Ermüdung, aber auch der Erholung fähig, wenn man ihn nicht vertrocknen lässt und wenn Sauerstoff zuströmen kann (MV. 471). Bei übermässiger Ermüdung erscheinen in Muskeln giftige Stoffe, Toxine, wohl durch teilweisen Zerfall von Eiweisssubstanz. Solche Stoffe verteilen sich und gelangen mit dem Blut ins Gehirn und überall hin (MV. 472, 473). Die Nerven selber scheinen unermüdbar

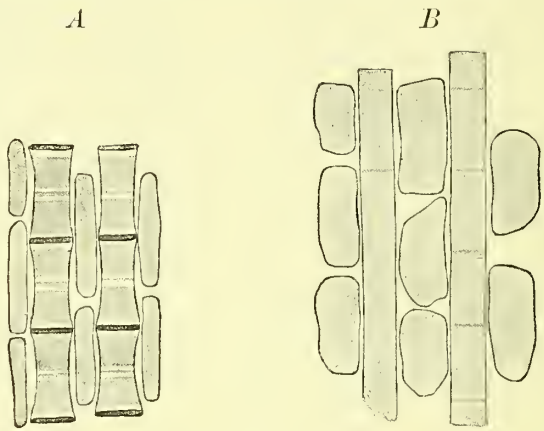


Fig. 44

Flugmuskeln von der Schmeissfliege (Musca vomitoria). A in Ruhe, B in der Ermüdung. Die Schichtung der Muskelsegmente ist unsichtbar geworden, und die Sarkosomen zwischen den Fibrillen sind enorm vergrössert. Nach H. M. Bernard.

zu sein. Doch ist dies kaum möglich. Vielmehr wird ihr Stoffwechsel ein entsprechend reger sein (MV. 466). Analog wäre auch das Herz unermüdlich, was aber gewiss nicht der Fall ist (MV. 466).

Durch anhaltende starke Reize wird die Erregbarkeit von Nerven in der Regel herabgesetzt. Mit starken elektrischen Strömen kann durch passendes Oeffnen und Schliessen diese Herabsetzung so weit gebracht werden, dass die bt. Nerven gar keine Reize mehr leiten (MV. 432). Besonders sind chemische Reize sehr wirksam. Durch Narcotica, Anästhetica können Lähmungserscheinungen hervorgebracht werden (MV. 376). Nach Biedermann produziert ein narkotisierter Muskel bei der Reizung doch noch einen elektrischen Strom; also stehen die Lebensprozesse in ihm nicht völlig still (MV. 381). Die Ganglienzellen des Zentralnervensystems, welche zusammen der

Sitz des Bewusstseins sind, werden durch Narcotica gelähmt. Es können aber ihrem Stoffwechsel durch solche Narcotica irreparable Schädigungen zugefügt werden (MV. 382). Nach Uebereizung tritt in der Regel der Tod ein. Morphium erregt zuerst die Ganglienzellen, lähmt sie bei stärkerer Anwendung, tötet sie zuletzt, so dass infolgedessen Herz- und Atemthätigkeit aufhören (MV. 477). Nach Heidenhain rundet sich der Kern von Speicheldrüsenzellen, welcher während der Ruhe zackige Ausläufer in das Protoplasma sendet, nach anhaltender Reizung ab, ein Zeichen, wie sehr auch der Kern an den Reizerscheinungen Anteil nimmt (MV. 522).

Wenn einerseits stets neue Zellen entstehen, so erfolgt auch andererseits gleichzeitig Rückbildung von Zellen, durch den Kampf ums Dasein; beispielsweise wird das Nervenzentrum der Ascidien im Verlauf der Entwicklung zu einem einfachen Ganglion rückgebildet (CC. 618). Wird die Rückbildung von Körperzellen grösser als die Neubildung gleichartiger Zellen, so beginnt die Nekrobiose, welche bei Andauern dieser Vorgänge mit dem Tode endigt (MV. 324). Der Tod kann erfolgen durch Atrophie, Lockerung der Zellen verbunden mit gleichzeitigen Veränderungen des Protoplasmas (MV. 325, 326); durch Zerfall der Muskeln (MV. 326); durch Totenstarre, die erst nachträglich die Auflösung infolge anderer Umsetzungen nach sich zieht (MV. 329); durch Fettmetamorphose (nach Phosphorvergiftung) mit Eiweisszerfall (MV. 335—337); durch Schleimmetamorphose mit Uebergang des Eiweisses in Verbindungen desselben mit Kohlehydraten (MV. 337); durch Amyloidmetamorphose, bei der Amyloid von den Zellen in den Intercellularräumen abgeschieden wird; durch Verkalkung von Zellen, Arterien, Ganglien (MV. 339, 340); durch Gifte, weil sie Verbindungen mit den Eiweisskörpern eingehen, die deren normales Wachstum oder Lebendigbleiben zerstören (MV. 341); durch äussere Eingriffe, übermässige Reize aller Art; durch Eintritt des Greisenalters, als natürliche Todesursache (MV. 342). Die Lebensdauer hoch entwickelter Individuen kann eine sehr grosse sein. Der Elefant wird 200 Jahre (AW_6. 3), Adler und Falken weit über 100 Jahre alt (AW_6. 12).

4. Kapitel.

Fortpflanzung und Vererbung.

Bei niederen Tieren findet teilweise ungeschlechtliche Fortpflanzung statt, ähnlich wie bei wenig differenzierten Pflanzen; Zwitterbildungen sind gleichfalls bei gewissen nicht besonders hoch entwickelten Tierarten nachgewiesen worden. Die Differenzierung in männliche und weibliche Individuen ist aber im Tierreich doch viel weiter ausgebildet, als im Pflanzenreich. Wie diese Differenzierung zu stande gekommen ist, haben wir ausführlich in dem allgemeinen Teil unserer Entwicklungen über Zellenstaaten, im ersten Kapitel, auseinander gesetzt (S. 29), und manches speziellere später im Kapitel über das Pflanzenreich behandelte die Fortpflanzung betreffende kann ohne weiteres auf das Tierreich übertragen werden (S. 60).

Generationswechsel.

Bei vielen Arten hat sich nicht nur die Fortpflanzungsart, namentlich der Zeitpunkt der Entwicklung neuer Individuen und also der Zeitpunkt der Befruchtung den periodisch wechselnden Lebensbedingungen angepasst, sondern durch anderweitige Differenzierung sind Generationswechsel entstanden, teilweise schon im Pflanzenreich, hauptsächlich aber im Tierreich. Entwickelt sich nämlich die Fortpflanzungszelle zu einem selbständigen Individuum, weil ihr genügend Nahrung mit auf den Lebensweg gegeben worden ist, so wird nun, wenn letztere Nahrung aufgebraucht ist, das Individuum selber Nahrung suchen müssen. Nahrung muss im entsprechenden Zeitpunkt in der Regel vorhanden sein, bis zum Eintritt der ungünstigen Periode,

in gemässigten und kalten Zonen beispielsweise bis zum Eintritt des Winters. Im Frühjahr, Sommer und Herbst sind aber die Vegetationsverhältnisse oder, allgemeiner aufgefasst, die sämtlichen Lebensbedingungen, denen das Individuum sich anpassen muss, sehr verschiedene. Zahlreiche Arten könnten ohne besondere eigenartige Anpassung nur kurze Zeit ihre notwendige Nahrung finden. Sie müssten dann eine sehr lange Ruheperiode bz. gefahrbringende Periode zu überdauern geeignet sein. Solche Individuen haben daher durch Selektion im Kampf ums Dasein die Fähigkeit erworben, ihre verdauenden Zellen zu verschiedenen Zeiten verschiedenen Nahrungsbedingungen anzupassen. Die Individuen solcher Arten haben sich mehr und mehr ganz verschiedene verdauende Zellen ausgebildet, die einen für die frühere, die anderen für die spätere Zeit. Mit den verdauenden Zellen änderten sich die übrigen Zellenarten, der notwendig zu erhaltenden Korrelation unter denselben entsprechend. Um die gefahrbringende Periode (eventuell den Winter) in ihrer Dauer möglichst eingeschränkt zu halten, passten sich solche Individuen im Lauf der Zeiten immer mehr verschiedenen Ernährungsbedingungen an. Wenn sie zb. Pflanzennahrung bedurften, passte sich die frühere Entwicklungsform dieser Individuen einer Pflanzenart an, welche früh, die spätere Entwicklungsform einer Pflanzenart, welche spät die entsprechende Nahrung lieferte. Dadurch mussten sich jene beiden Entwicklungsformen ihrem Aufbau nach voneinander unterscheiden, um so mehr, je mehr diese beiden Pflanzenarten voneinander verschieden waren. In vielen Fällen musste ein eigenes Zwischenstadium, ein zweites Ruhestadium zwischen die beiden Entwicklungsformen sich einschieben, in dem keine Nahrungsaufnahme mehr notwendig war, dann nämlich, wenn jene beiden Pflanzenarten nicht in unmittelbar aufeinander folgenden Zeiträumen verdauliche Nahrung lieferten. In diesem Ruhestadium wandelten sich sodann unter Verwendung der aufgespeicherten Reservestoffe die Zellen der einen Entwicklungsform um in diejenigen der anderen Entwicklungsform, ganz ähnlich wie im Embryonalstadium die Nahrungssubstanzen, zb. die Dottersubstanzen umgewandelt werden in Körperzellen. Es entstanden in langen Zeiträumen, der Ausbildung von Perioden in den Lebensverhältnissen entsprechend, die periodisch wechselnden

Entwicklungsformen, wie sie uns beispielsweise in Larven und in ausgebildeten Insekten entgegentreten, die Generationswechsel, wie wir sie nennen.

Wir finden Generationswechsel weit verbreitet bei Pflanzen und Tieren. Besonders auffallend treten dieselben zu Tage bei den Insekten, indessen beispielsweise auch bei vielen Amphibien. Die Kaulquappen, welche im Wasser herumschwimmen, verwandeln sich später in Frösche, die auf dem Lande zu leben vermögen. Solche Generationswechsel verlieren viel von ihrem Wunderbaren, wenn wir uns gegenwärtig halten, wie dieselben im Laufe ungeheurer Zeiträume langsam sich herausgebildet haben. Dass aber aus einer Larve ein ungefähr gleich grosses ganz anders geformtes fertig ausgebildetes Insekt sich entwickle, ist doch nicht wunderbarer, als dass aus einem Ei mit gänzlich undifferenzierten Zellsubstanzen ein hoch kompliziertes Tier hervorgehe.

Befruchtungsvorgänge.

Die Befruchtung ist eine Vereinigung der männlichen und der weiblichen Fortpflanzungszelle, des Spermatozoons und des Eies. Jene Zelle ist in der Regel überaus leicht beweglich und sucht daher diese auf. Die Energie, die für die Erhaltung der notwendigen Bewegungen des Spermatozoons aufgewandt werden muss, wird geliefert entweder durch Verbrauch von Substanzen des Spermatozoons oder von solchen des Sperma. Das letztere ist wohl das wahrscheinlichere. Demnach würden die Spermatozoen im Sperma beweglich bleiben und lebhafte Bewegungen ausführen, weil sie in diesem ihre notwendige Nahrung finden. Das reife weibliche Ei giebt aber Witterung ab, und diese Witterung wirkt gleichfalls auf die Spermatozoen analog ein wie eine Nahrung. Denn sie übt einen Reiz auf gewisse nervöse Substanzen des Spermatozoons aus und diese Substanzen beeinflussen die kontraktilen Substanzen, regen sie zur Hervorbringung von Bewegungen an, so dass das Spermatozoon dem witterungabgebenden Ei entgegengeht. In den sehr hoch entwickelten animalischen Wesen scheint auch ein Reiz, möglicherweise ein einfacher Nahrungsreiz, von einer bestimmten Stelle des Eileiters auszugehen, vielleicht von derjenigen, die dem Ei seinen Nahrungsvorrat, seinen Dotter mitgiebt. Diese Stelle kann etwa

im Augenblicke der Begattung vermöge der Korrelation mit den bt. Sexualorganen gereizt werden, daraufhin etwas reichlicher ihren Dotter abgeben und dadurch selber zur Reizquelle für die Spermatozoen werden. Die Spermatozoen gehen sodann im Eileiter dieser Reizquelle, also auch dem Ei entgegen, jedoch gehen sie, wenn kein reifes Ei in der Nähe ist, nur bis zu derjenigen Stelle des Eileiters, welche beständig etwas Dotter abscheidet. Hier existieren sie weiter, weil sie die notwendigste Nahrung finden; sie können hier die Reifung eines Eies abwarten. Ist der Zeitpunkt dieser Reifung eingetreten, und giebt nun das Ei seine Witterung ab, so gehen die Spermatozoen sogleich dem Ei entgegen. Eines derselben erreicht das Ei zuerst, dringt in dasselbe ein. Die Konjugation findet statt und damit hört der Reiz für die Spermatozoen auf. Das Ei erhält eine dickere einhüllende Membran, Witterung wird von ihm nicht mehr abgegeben und die übrigen Spermatozoen können also in der Regel nicht mehr in dasselbe eindringen. Werden letztere von der Hülle des Eies festgehalten und hier resorbiert, das heisst verdaut, so werden sie dabei wahrscheinlich nicht in die kleinsten Atomgruppen zerlegt, sondern nur in mehr oder weniger hochkomplizierte Molekeln aufgelöst, die als solche ins Innere des Eies aufgenommen werden. Denn diese Molekeln stehen mit den Substanzen des Eies, das derselben Tierart entstammt, im entsprechenden Gegenseitigkeitsverhältnisse der Resonanz (S. 3). Daher können Spermatozoen, welche nicht selber die Befruchtung hervorrufen, welche nur durch Resorption von aussen ins Innere des Eies aufgenommen werden, doch einen gewissen Beitrag zu den vererbten Eigenschaften liefern.

Vererbung.

Wir haben schon weiter oben gezeigt, dass bei der Befruchtung die eine Fortpflanzungszelle die andere gleichsam in sich aufnimmt, dass die stärkere Siegerin bleibt im Kampf um die Nahrung, welche eine von ihnen oder welche sie beide von ihren Erzeugern mitgebracht haben (S. 27). Die Siegerin kann die kleinsten Teilchen der anderen Fortpflanzungszelle, ihre Molekeln und Fistellen, einfach in die Schar ihrer eigenen Molekeln und Fistellen einreihen, weil das oben erwähnte Gegen-

seitigkeitsverhältnis der Substanzen untereinander, wie wir früher gefunden haben, auch dann noch in genügender Weise erhalten bleibt, wenn in diesen Substanzen sehr kleine Aenderungen in den Atomzahlen der Molekeln, oder in den Atomgruppierungen vorkommen. Um etwas anderes als um kleine Aenderungen kann es sich aber bei den Individuen einer und derselben Art nicht handeln. Demnach erhält das infolge des Befruchtungsvorganges aus dem Ei sich entwickelnde Individuum Molekeln und Fistellen, also ganze Substanzen von jedem von beiden Eltern. Es erbt also auch die Eigenschaften beider Eltern. Weil die Substanzen, an die doch diese Eigenschaften gebunden sind, für beide Eltern etwas voneinander abweichen, so wird im Nachkommen jedesmal diejenige vom einen oder vom anderen der beiden Eltern herrührende Substanz überwiegen, welche leichter sich Nahrung beschaffen, welche leichter assimilieren kann, als die andere.

Vererbung der geschlechtlichen Differenzierung.

Namentlich hat sich dem Selektionsprinzip zufolge bei den meisten Tierarten die Einrichtung herausdifferenziert, dass in den Nachkommen stets nur je eine Art von Fortpflanzungsorganen sich entwickelt, diejenige nämlich, welche für sich allein oder in Korrelation mit allen übrigen Organen die kräftigere ist, also wiederum diejenige, welche leichter im stande ist, durch Assimilation unter den gegebenen Lebensbedingungen zu wachsen, Nahrung an sich zu ziehen. Die Nachkommen nehmen demnach frühzeitig das eine oder das andere Geschlecht an, es entsteht ein männliches oder ein weibliches Individuum. Bei der Befruchtung, bei der Vereinigung der männlichen und der weiblichen Fortpflanzungszelle muss sich das Geschlecht des neu sich entwickelnden Individuums schon bestimmen. Je nachdem die Molekeln, die Fistellen, die Substanzen, aus welchen später die Geschlechtsorgane durch immer weiter schreitende Assimilation, sowie durch Neubildung entsprechender Substanzen sich entwickeln, von der einen oder von der anderen Fortpflanzungszelle Sieger bleiben, bei der Vereinigung beider, erhält der Nachkomme das eine oder das andere Geschlecht. Doch gehen auch bei der Entwicklung der Geschlechtsorgane die Eigenschaften

des unterliegenden Teils nicht notwendigerweise völlig verloren, weil die bt. Fistellen und Molekeln bei ihrer Aufnahme durch die in dieser Beziehung stärkere Fortpflanzungszelle nicht in ihre kleinsten Bestandteile, nicht in die Atome oder in kleinste Atomgruppen aufgelöst werden.

Es ist naheliegend, zu vermuten, dass die hauptsächlich bei höher entwickelten Tierarten so sehr verschiedenen männlichen und weiblichen Fortpflanzungszellen, das Spermatozoon und das Ei, selber schon männlich oder weiblich seien, dass also jedes geschlechtliche Individuum immer nur Fortpflanzungszellen für eine von den beiden möglichen geschlechtlichen Nachkommenarten liefere. Die Bienenköniginnen legen Eier, aus denen Weibchen entstehen, wenn die Eier befruchtet waren, dagegen Männchen, wenn sie nicht befruchtet waren. Diese, wie es scheint, durch Beobachtungen genügend erhärtete Thatsache weist darauf hin, dass aller Wahrscheinlichkeit nach die Männchen in den Spermatozoen diejenigen Fortpflanzungszellen hervorbringen, welche in entsprechenden ihrer Substanzen und ihrer bestimmt aufgebauten Teile die Anlage enthalten für die Entstehung eines weiblichen, übrigens gleichartigen Individuums, und dass umgekehrt die Weibchen in den Eiern die Anlagen enthalten für die männliche Nachkommenschaft. Ist dann bei der einzelnen Befruchtung, bei der Kopulation der beiden Fortpflanzungszellen die besondere geschlechtliche Substanz — nämlich diejenige, aus welcher bei der Entwicklung des neuen Individuums die Geschlechtsorgane hervorgehen — im Spermatozoon die mächtigere, so siegt das weibliche Geschlecht, der Nachkomme wird weiblich. Ist dagegen die geschlechtliche Substanz in dem zur Kopulation gelangenden Ei die mächtigere, so entsteht der männliche Nachkomme. Wenn es sich so verhält, so haben wir gewissermassen einen Generationswechsel bei allen Tieren, die sich durch geschlechtliche Fortpflanzung vermehren. Das männliche Individuum erzeugt das weibliche, dieses wieder das männliche, und so weiter, in beständigem Wechsel.

Noch ein anderer Grund lässt sich für unsere Auffassungsweise angeben. Würden nämlich die Männchen immer nur für die männlichen Nachkommen, die Weibchen immer nur für die weiblichen Nachkommen die Anlagen hervorbringen, so müssten offenbar Männchen und Weibchen im Laufe der Zeiten immer

grössere Verschiedenheiten voneinander annehmen, und es wäre dann überaus auffallend, dass in allen höher entwickelten Tierarten Männchen und Weibchen, abgesehen von den (primären und sekundären) Sexualcharakteren, einander so sehr gleichen. Denn zu möglichst günstiger Entwicklung ihrer primären Sexualcharaktere, von denen doch in erster Linie die Erhaltung der Art abhängt, bedürfen Männchen und Weibchen offenbar etwas, wenn auch noch so wenig verschiedener Nahrung, sowie verschiedener Lebensweise. Bei der Differenzierung würden infolgedessen grössere und grössere Verschiedenheiten auftreten, und zuletzt würden sich Männchen und Weibchen derselben Art gar nicht mehr ähnlich sein, wenn nicht jener Wechsel der Geschlechter statthätte. Ein solcher Wechsel ist demnach das Zweckmässige; er sorgt dafür, dass beiderlei Geschlechtstiere einander ähnlich bleiben, dass sie sich dementsprechend eine ähnliche Lebensweise angewöhnen; er bewirkt, dass sie am gleichen Orte sich aufhalten, zusammenwohnen, dass sie zur Zeit der Befruchtung sich leichter finden.

Reduktionsteilung.

Bei tierischen Fortpflanzungszellen hat man die Beobachtung gemacht, dass eine „Reduktionsteilung" zu stande kommen muss, wenn Eier und Spermatozoen reif, das heisst wenn sie befruchtungsfähig werden sollen. In Eiern, denen vom Mutterindividuum Nährstoff im Ueberschuss zugeführt wird, beginnt eine eigenartige Kernteilung, der zufolge sich die sg. Richtungskörperchen, kleine gelegentlich auch als Abortiveier bezeichnete Körperchen, zwei bis drei an der Zahl, abschnüren (Fig. 45). Nach diesem Vorgang tritt ein Ruhezustand für das Ei ein, ein mehr oder weniger beständiger Dauerzustand, in welchem kein Wachstum einzelner seiner Teile, keine Entwicklung erfolgt, bis die Befruchtung eintritt.

Die Fortpflanzungszelle, die im Ei mit Nahrungsstoffen sehr reichlich versehen ist, kann sich ohne weiteres entwickeln, sie kann zu einem vollständigen Zellenstaat sich ausbilden. Wenn dies ohne Befruchtung geschieht, so ist die Fortpflanzung eine parthenogenetische. Zweckmässiger ist in der Regel die geschlechtliche Fortpflanzung, und dieser entsprechend muss eben

das Ei ein Ruhestadium annehmen können, das seiner eigenen Fortpflanzungszelle die weitere Entwicklung ohne Befruchtung unmöglich macht. Ein solches Ruhestadium ist erst allmählich,

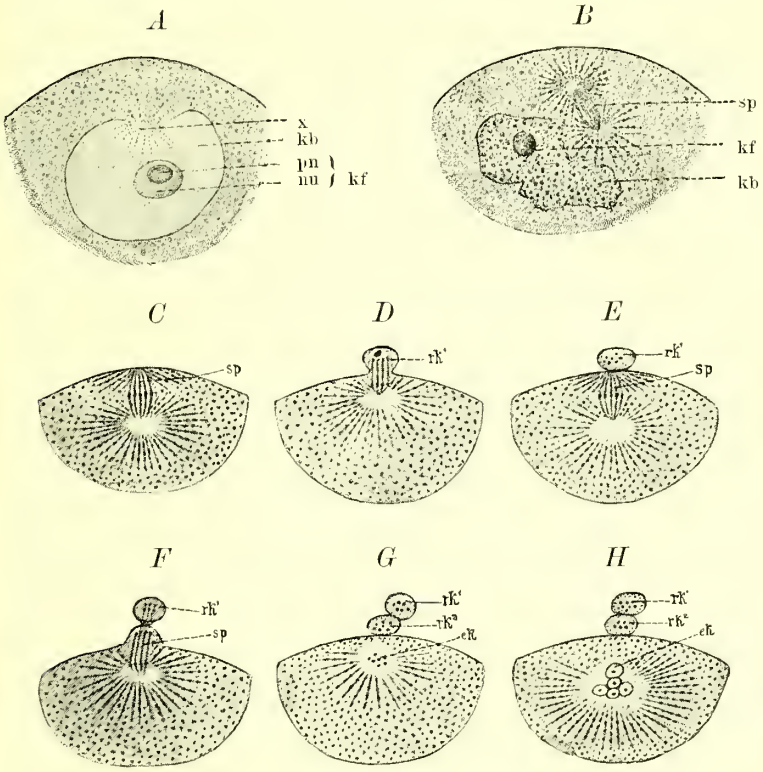


Fig. 45.

A, B. Ausschnitt aus Eiern von Asterias glacialis. Sie zeigen die Rückbildung des Keimbläschens (kb). In Figur A beginnt dasselbe zu schrumpfen, indem ein Protoplasmahöcker (x) mit einer Strahlung in sein Inneres eindringt und die Membran daselbst auflöst. Der Keimfleck (kf) ist noch deutlich, aber in zwei Substanzen, Nuclein (nu) und Paranuclein (pn) gesondert. In Figur B ist das Keimbläschen (kb) ganz geschrumpft, seine Membran ist aufgelöst, der Keimfleck (kf) nur noch in kleinen Resten vorhanden, in der Gegend des Protoplasmahöckers der Figur A ist eine Kernspindel (sp) in Ausbildung begriffen.

C—H. Bildung der Polzellen bei Asterias glacialis. In Figur C ist die Kernspindel (sp) an die Oberfläche des Eies gerückt. In Figur D hat sich ein kleiner Hügel (rk^1) gebildet, der die Hälfte der Spindel aufnimmt. In Figur E ist der Hügel zu einer Polzelle (rk^1) abgeschnürt. Aus der Hälfte der früheren Spindel ist wieder eine zweite vollständige Spindel (sp) entstanden. In Figur F wölbt sich unter der ersten Polzelle ein zweiter Hügel hervor, der sich in Figur G zur zweiten Polzelle (rk^2) abgeschnürt hat. Aus dem Rest der Spindel entwickelt sich der Eikern (ek) in Figur H. Nach O. Hertwig.

im Laufe der Zeiten, durch Differenzierung entstanden. Weil nämlich im Ei die Substanzen der Fortpflanzungszelle selber und die Nährsubstanzen derselben von einem und demselben

Individuum abstammen, sind die letzteren Substanzen besonders leicht in erstere überführbar. Die leichte Umwandlungsfähigkeit der vom Individuum bereits zubereiteten Nährsubstanzen in alle möglichen Körpersubstanzen wird ja in jedem Organismus angetroffen. Wir dürfen also vermuten, die ursprünglich kleine Fortpflanzungszelle im Ei wachse anfänglich, wegen der vorhandenen reichlichen Nahrung, die ihrer Aufnahmsfähigkeit aufs beste angepasst ist, überaus rasch. Ihre verschiedenen Substanzen wachsen aber ungleich schnell, wie wir schon bei der Kernteilung gesehen haben. Zuerst wächst die eine Substanz, dann erst die andere. Wahrscheinlich leitet die nervöse Substanz diesen ganzen Wachstumsvorgang, sie „arbeitet" also, und somit muss sie verhältnismässig stark wachsen, wenn sie die hierzu notwendige verdauliche Nahrung erhält. Jedenfalls bildet sich aus der ursprünglichen kleinen Fortpflanzungszelle im Ei, welche noch alle Zellsubstanzen in normaler, für die bt. Art typischer Verteilung enthält, durch Wachstum eine andere grössere Fortpflanzungszelle aus, welche ihre Zellsubstanzen nicht mehr in normaler Verteilung enthält. Unter allen möglichen Kombinationen dieser Zellsubstanzen muss es nun eine solche geben, welche mit der Nährmasse des Eies in derartiger Korrelation steht, dass beide sich gegenseitig nicht mehr stören, nicht mehr reizen, dass nicht die Fortpflanzungszelle auf Kosten der Nährsubstanz sich vergrössert, dass aber auch nicht durch Resorption aus der Fortpflanzungszelle Nährsubstanz sich rückbildet. Diese Fortpflanzungszelle allein ist beständig in dem um sie herum angehäuften Nahrungsvorrat, und diese Zelle bildet sich durch die Reduktionsteilung.

Der Vorgang des anfänglichen Wachstums der Fortpflanzungszelle im Ei bis zur Erzeugung der „reifen" Fortpflanzungszelle, die dem Ruhestadium des Eies entspricht, hat sich in langen Zeiträumen ausgebildet, weil in der Regel die männlichen und die weiblichen Fortpflanzungszellen nicht genau im gleichen Zeitpunkt fertig entwickelt sind und die Befruchtungsfähigkeit erlangen. Es musste also ein Dauerstadium für dieselben geschaffen werden. Individuen, deren Fortpflanzungszellen nach völliger Ausbildung eine etwas längere Zeit wirksam und befruchtungsfähig blieben als andere, pflanzten sich besonders reichlich fort, und wegen des Kampfes ums Dasein und vermöge

des Selektionsprinzips blieben solche Individuen zuletzt allein übrig.

Eine entsprechende Reduktionsteilung musste sich in den Fortpflanzungszellen der männlichen Individuen, in den Spermatozoen gleichzeitig ausbilden, in der Weise, dass im Befruchtungsvorgang jeder der beiden Fortpflanzungszellen durch die andere solche Zellsubstanzen neu zugeführt werden, welche sie für das weitere Wachstum nötig hat. Nach der Befruchtung beginnt erst das normale Wachstum der aus der Kopulation hervorgegangenen einzigen Fortpflanzungszelle auf Kosten der Nährmasse. Substanzen eines ganz anderen Individuums, also Substanzen etwas anderer Zusammensetzung sind durch den Befruchtungsvorgang in das Ei hineingedrungen. Dadurch wurde das bisherige Gleichgewicht zwischen den Substanzen der Fortpflanzungszelle im Ei und ihren Nährsubstanzen nicht nur gestört, sondern es kann sich dasselbe überhaupt nicht mehr herstellen. Demzufolge entwickelt sich nunmehr, weil fremde etwas ungleichartige Zellsubstanzen zu assimilieren bestrebt sind, die befruchtete Fortpflanzungszelle langsamer als zuvor die nicht befruchtete. Die Zellteilungen können ganz normal zu stande kommen, ein durch Wachstum mehr und mehr sich vergrössernder Zellenstaat kann entstehen, aus dem schliesslich ein den Erzeugern ähnliches Individuum hervorgeht. Nur bei zu naher Verwandtschaft beider Erzeuger entwickelt sich die befruchtete Fortpflanzungszelle wiederum zu rasch, fast so rasch, wie wenn sie nur aus einem Erzeuger hervorgegangen wäre, und dann kann sie zu Missbildungen führen; sie kann sich so rasch entwickeln, dass überhaupt kein auch nur annähernd normales Individuum aus ihr entsteht.

Einfluss auf das Geschlecht der Nachkommen.

Wenn es richtig ist, dass die männlichen und die weiblichen Fortpflanzungszellen jeweilen die Anlagen nur für das eine oder nur für das andere Geschlecht in sich tragen, so muss es gelingen, einen Einfluss auf das Geschlecht der zu erzeugenden Nachkommen zu gewinnen. Ein solcher Einfluss kommt zu stande, wenn man durch zielbewusstes Vorgehen bewirken kann, dass entweder die männliche oder die weibliche Fortpflanzungs-

zelle im Augenblick der Befruchtung in Beziehung auf ihre geschlechtliche Substanz die stärkere, die mächtigere ist. Denn die stärkere von beiden assimiliert in der zu ihrer Verfügung stehenden Nährsubstanz des Eies stärker als die andere, sie entwickelt sich stärker und bestimmt das Geschlecht des Nachkommen.

Demnach ist es zur Erreichung des vorgesteckten Ziels notwendig, während der Bildung der Fortpflanzungszellen im bt. elterlichen Körper und wohl vorzugsweise im letzten Zeitraum der Ausbildung derselben das elterliche Individuum so zu beeinflussen, dass seine Fortpflanzungszellen besonders kräftig oder besonders wenig wirksam werden. Einen solchen Einfluss auf die Individuen erlangt man durch die Ernährung, durch Art und Menge der zugeführten Nahrung, aber auch durch die gesamten Lebensbedingungen überhaupt, durch Licht, Wärme, Feuchtigkeit, durch seelische Einwirkungen. Jede Lebensbedingung muss für sich allein genügen, um den gewünschten Einfluss auf das elterliche Individuum zu gewinnen. Durch Aenderung nur einer Lebensbedingung wird man leichter dazu gelangen, den Einfluss dieser speziellen Lebensbedingung festzusetzen; variiert man dagegen alle Lebensbedingungen beider Eltern, so wird man allerdings mit geringeren Aenderungen dieser Bedingungen im stande sein, auf das Geschlecht der Nachkommen einzuwirken. Indessen verliert man wohl im letzteren Fall leicht die Uebersicht über die bewirkten Gesamtänderungen in den elterlichen Individuen.

Es wäre wohl überaus schwierig, für höher entwickelte Tiere festzusetzen, dass beispielsweise die Weibchen während der Eierzeugung innerhalb gewisser Temperaturgrenzen, die Männchen während der Spermatozoenbildung innerhalb gewisser, wahrscheinlich ganz anderer Temperaturgrenzen leben müssten, damit aus ihrer geschlechtlichen Vereinigung ganz sicher die Fortpflanzungszelle des Weibchens oder diejenige des Männchens siegreich hervorgehe, dass also der Nachkomme männlich bz. weiblich werde. Ebenso schwierig wäre es, das für jedes Geschlecht passende Licht, in welchem sich die Individuen vor der Begattung aufzuhalten haben, damit das gewünschte Ziel erreicht werde, experimentell nach Farbe und Intensität zu bestimmen, oder in gleicher Weise den Feuchtigkeitsgehalt der Luft, oder ihren Gehalt an chemischen, den Geruch beeinflussen-

den Stoffen festzustellen. Noch umfangreicher wäre die Aufgabe, aus den zahlreichen Nahrungsarten, welche dem tierischen Körper zugeführt, welche von ihm verdaut werden können, diejenigen der Qualität und der Quantität nach herauszusuchen, die dem Weibchen, und diejenigen, die dem Männchen gegeben werden müssten, damit sicher der Nachkomme männlich bz. weiblich sei.

Ein anderer Weg scheint aber ohne grosse Schwierigkeiten zum Ziel zu führen. Man stelle sich vor, einem Geschlechtstier werde etwa die Nahrung fortgesetzt so spärlich zugeteilt, dass es mit derselben eben noch seinen Lebensunterhalt findet, dass es keine Reservestoffe produzieren, dass es namentlich auch keine Fortpflanzungszellen entwickeln und zur Reife bringen kann. Damit letzteres nicht auf anderem Wege geschehe, etwa wie beim Lachs, welcher trotz monatelangen Hungerns seine Fortpflanzungsprodukte auf Kosten anderer Körpersubstanzen entstehen lässt, darf das Versuchstier überhaupt vor dem Versuche nicht merklich Reservestoffe angesammelt haben. In solchem Zustand ist dann das Tier nicht fortpflanzungsfähig. Steigert man nun die zugeführte Nahrungsmenge ganz allmählich, so tritt ein Augenblick ein, in welchem Fortpflanzungszellen im Tier eben zur Reife gelangen, in welchem sie aber gerade nur so weit entwickelt sind, dass sie ihren Funktionen zur Not genügen. Steigert man die Nahrungszufuhr mehr und mehr, wobei die Qualität der Nahrung ebenso sehr in Betracht kommen mag wie die Quantität, so entstehen kräftigere Fortpflanzungszellen. Bei einer bestimmten Nahrungszufuhr erreichen dieselben einen Wert grösster Wirkungsfähigkeit, ein Optimum, und bei übermässiger Nahrungszufuhr wird ihre Wirksamkeit schliesslich wiederum abnehmen.

Benutzt man nun zur Begattung einerseits ein Männchen, welches nach jener durch Hungern künstlich hervorgerufenen Periode der Unfruchtbarkeit eben zum erstenmal seine Fruchtbarkeit wieder erlangt hat, andererseits ein Weibchen, welches in der Fülle seiner Fruchtbarkeit steht, so wird man einen männlichen Nachkommen erzielen. Lässt man Männchen und Weibchen ihre Rollen vertauschen, so wird ein weiblicher Nachkomme erzeugt werden. Voraussetzung dabei ist aber offenbar, dass man die Aenderung der Lebensbedingungen, insbesondere

zelle im Augenblick der Befruchtung in Beziehung auf ihre geschlechtliche Substanz die stärkere, die mächtigere ist. Denn die stärkere von beiden assimiliert in der zu ihrer Verfügung stehenden Nährsubstanz des Eies stärker als die andere, sie entwickelt sich stärker und bestimmt das Geschlecht des Nachkommen.

Demnach ist es zur Erreichung des vorgesteckten Ziels notwendig, während der Bildung der Fortpflanzungszellen im bt. elterlichen Körper und wohl vorzugsweise im letzten Zeitraum der Ausbildung derselben das elterliche Individuum so zu beeinflussen, dass seine Fortpflanzungszellen besonders kräftig oder besonders wenig wirksam werden. Einen solchen Einfluss auf die Individuen erlangt man durch die Ernährung, durch Art und Menge der zugeführten Nahrung, aber auch durch die gesamten Lebensbedingungen überhaupt, durch Licht, Wärme, Feuchtigkeit, durch seelische Einwirkungen. Jede Lebensbedingung muss für sich allein genügen, um den gewünschten Einfluss auf das elterliche Individuum zu gewinnen. Durch Aenderung nur einer Lebensbedingung wird man leichter dazu gelangen, den Einfluss dieser speziellen Lebensbedingung festzusetzen; variiert man dagegen alle Lebensbedingungen beider Eltern, so wird man allerdings mit geringeren Aenderungen dieser Bedingungen im stande sein, auf das Geschlecht der Nachkommen einzuwirken. Indessen verliert man wohl im letzteren Fall leicht die Uebersicht über die bewirkten Gesamtänderungen in den elterlichen Individuen.

Es wäre wohl überaus schwierig, für höher entwickelte Tiere festzusetzen, dass beispielsweise die Weibchen während der Eierzeugung innerhalb gewisser Temperaturgrenzen, die Männchen während der Spermatozoenbildung innerhalb gewisser, wahrscheinlich ganz anderer Temperaturgrenzen leben müssten, damit aus ihrer geschlechtlichen Vereinigung ganz sicher die Fortpflanzungszelle des Weibchens oder diejenige des Männchens siegreich hervorgehe, dass also der Nachkomme männlich bz. weiblich werde. Ebenso schwierig wäre es, das für jedes Geschlecht passende Licht, in welchem sich die Individuen vor der Begattung aufzuhalten haben, damit das gewünschte Ziel erreicht werde, experimentell nach Farbe und Intensität zu bestimmen, oder in gleicher Weise den Feuchtigkeitsgehalt der Luft, oder ihren Gehalt an chemischen, den Geruch beeinflussen-

den Stoffen festzustellen. Noch umfangreicher wäre die Aufgabe, aus den zahlreichen Nahrungsarten, welche dem tierischen Körper zugeführt, welche von ihm verdaut werden können, diejenigen der Qualität und der Quantität nach herauszusuchen, die dem Weibchen, und diejenigen, die dem Männchen gegeben werden müssten, damit sicher der Nachkomme männlich bz. weiblich sei.

Ein anderer Weg scheint aber ohne grosse Schwierigkeiten zum Ziel zu führen. Man stelle sich vor, einem Geschlechtstier werde etwa die Nahrung fortgesetzt so spärlich zugeteilt, dass es mit derselben eben noch seinen Lebensunterhalt findet, dass es keine Reservestoffe produzieren, dass es namentlich auch keine Fortpflanzungszellen entwickeln und zur Reife bringen kann. Damit letzteres nicht auf anderem Wege geschehe, etwa wie beim Lachs, welcher trotz monatelangen Hungerns seine Fortpflanzungsprodukte auf Kosten anderer Körpersubstanzen entstehen lässt, darf das Versuchstier überhaupt vor dem Versuche nicht merklich Reservestoffe angesammelt haben. In solchem Zustand ist dann das Tier nicht fortpflanzungsfähig. Steigert man nun die zugeführte Nahrungsmenge ganz allmählich, so tritt ein Augenblick ein, in welchem Fortpflanzungszellen im Tier eben zur Reife gelangen, in welchem sie aber gerade nur so weit entwickelt sind, dass sie ihren Funktionen zur Not genügen. Steigert man die Nahrungszufuhr mehr und mehr, wobei die Qualität der Nahrung ebenso sehr in Betracht kommen mag wie die Quantität, so entstehen kräftigere Fortpflanzungszellen. Bei einer bestimmten Nahrungszufuhr erreichen dieselben einen Wert grösster Wirkungsfähigkeit, ein Optimum, und bei übermässiger Nahrungszufuhr wird ihre Wirksamkeit schliesslich wiederum abnehmen.

Benutzt man nun zur Begattung einerseits ein Männchen, welches nach jener durch Hungern künstlich hervorgerufenen Periode der Unfruchtbarkeit eben zum erstenmal seine Fruchtbarkeit wieder erlangt hat, andererseits ein Weibchen, welches in der Fülle seiner Fruchtbarkeit steht, so wird man einen männlichen Nachkommen erzielen. Lässt man Männchen und Weibchen ihre Rollen vertauschen, so wird ein weiblicher Nachkomme erzeugt werden. Voraussetzung dabei ist aber offenbar, dass man die Aenderung der Lebensbedingungen, insbesondere

die ganz allmähliche Steigerung der zuzuführenden Nahrung vollkommen in der Hand habe, und dass die beiden zur Begattung herangezogenen Individuen im übrigen normale Fortpflanzungsfähigkeit besitzen.

Derselbe Versuch muss mit jeder anderen notwendigen Lebensbedingung gelingen. Jede von diesen letzteren kann man so sehr einschränken, dass zuletzt die Fortpflanzungsfähigkeit aufhört. Die Entziehung von Luft, Licht, Wärme, Feuchtigkeit usf. muss solche Wirkungen zur Folge haben. Bei höher entwickelten Individuen können auch seelische Einwirkungen, wie Gefangenschaft, Kummer und Sorgen, die Fortpflanzungsfähigkeit bedeutend herabsetzen. Benutzt man in passender Weise das eine oder das andere von diesen Mitteln bei einem von den Eltern, während das andere auf seiner vollen Maximalfruchtbarkeit erhalten wird, so beeinflusst man damit das Geschlecht der hervorzubringenden Nachkommen.

Der weiter oben behandelte Generationswechsel zwischen dem männlichen und dem weiblichen Geschlecht (S. 153), auf welchen wir nunmehr nochmals zurückkommen müssen, hat eine grosse Wahrscheinlichkeit für sich; denn er wirkt günstig für die Erhaltung der Art. Würden nämlich in irgend einer Art beispielsweise die stärkeren Männchen die schwächeren Weibchen zu sehr unterdrücken und schlecht behandeln, würden sie ihnen etwa das Futter nicht gönnen, ihnen dasselbe wegfressen, was leicht möglich wäre, namentlich bei tiefer stehenden Arten, so müsste die bt. Art ohne jenen Generationswechsel entweder aussterben, oder Männchen und Weibchen müssten immer mehr verschiedenartiger Nahrung sich anpassen. Beide würden daher ganz verschiedene Formen annehmen und infolgedessen verschiedene Aufenthaltsorte aufsuchen, was wiederum für die Erhaltung der Art von Nachteil wäre. Denn die Fortpflanzungszellen der zu kärglich ernährten Weibchen sind im allgemeinen schwächer als diejenigen der Männchen, die das beste Fressen für sich beanspruchen. Im betrachteten Falle siegen bei der Befruchtung die letzteren über die ersteren, also die männlichen Fortpflanzungszellen (Spermatozoen) über die weiblichen (Eier). Ohne jenen Generationswechsel würden also mehr und mehr Männchen erzeugt, die Weibchen würden immer mehr unterdrückt. Mit dem von uns vermuteten Generationswechsel wird

dagegen umgekehrt das Unterdrücken der Weibchen durch die Männchen mit einem stärkeren Nachwuchs von Weibchen beantwortet. Ueberdies ist der weibliche Nachwuchs, weil er namentlich von den kräftigeren Männchen erzeugt wurde, verhältnismässig kräftiger als der namentlich von den schwächeren Weibchen erzeugte männliche Nachwuchs. Ein solcher Generationswechsel hat also ein Hinstreben nach einem gewissen Gleichgewicht zwischen dem männlichen und dem weiblichen Geschlecht zur Folge, welches dem günstigsten Zahlenverhältnis zwischen beiden Geschlechtern entspricht.

Bastarde.

Wenn sich Fortpflanzungszellen ganz verschiedener Arten am gleichen Orte befinden, weibliche von der einen und männliche von der anderen Art, so kann der Fall eintreten, dass die Eier der einen Art Witterung abgeben, die auf die Spermatozoen der anderen Art Reize ausübt, gross genug, um dieselben anzuziehen. Die Spermatozoen suchen also die ihrer Art im übrigen ganz fremden Eier auf. Die zweite Bedingung kann unter Umständen erfüllt sein, dass diese Spermatozoen auch diejenigen Fortbewegungsorgane besitzen, welche ihnen erlauben, in die Eier jener Art ungefähr ebenso leicht einzudringen, wie die Spermatozoen jener Art selber. In dritter Linie können jene Eier so beschaffen sein, dass sie ein tieferes Eindringen dieser fremden Spermatozoen gestatten. Mit der letzteren Bedingung ist zugleich angedeutet, dass die jenen Eifortpflanzungszellen der ersten Art mitgegebene Nährsubstanz auch Nahrung für die Spermatozoen der zweiten Art ist, und zwar eine Nahrung, die sich nicht zu leicht und nicht zu schwer durch Assimilation in die Substanzen der bt. Spermatozoen verwandeln lässt. Endlich können noch die Spermatozoen dieser zweiten Art in ihrem Bestande, in der Art und dem Aufbau ihrer Substanzen, den Spermatozoen jener ersten Art so sehr gleichen, dass sie gerade diejenigen Substanzen den Eiern zuführen, welche den Fortpflanzungszellen der letzteren zu weiterer Entwicklung fehlen. Sind alle genannten und überhaupt alle hierfür notwendigen Bedingungen erfüllt, so gehen aus der Befruchtung jener Eier durch die fremden Spermatozoen Bastarde hervor.

Es ist klar, dass Bastardierung im allgemeinen um so leichter möglich ist, je weniger die beiden bt. Arten voneinander verschieden sind; denn die aufgestellten Bedingungen des Erfolgs sind um so wahrscheinlicher erfüllt. Gehen wir in dieser Beziehung weiter und weiter, in der Richtung gegen zwei miteinander verwandte Arten hin, so kommen wir schliesslich zum Grenzfalle, in welchem Ei und Spermatozoon einer und derselben Art angehören. Doch gelingt die Bastarderzeugung hie und da bei fast nicht mehr miteinander verwandten Arten. Sind dann die Fortpflanzungszellen der einen Art durchschnittlich stärker, mächtiger als diejenigen der anderen Art, so werden namentlich jene den Bastarden ihren Charakter aufprägen. Wenn auch die geschlechtlichen Substanzen in den Fortpflanzungszellen der einen Art wesentlich stärker ausgebildet sind, als in denjenigen der anderen Art, so werden mit einem Männchen jener ersten Art vorzugsweise weibliche Bastarde, mit einem Weibchen der ersten Art vorzugsweise männliche Bastarde erzeugt.

Ursache der Vererbung erworbener Eigenschaften.

Jede Art muss ihre Eigenschaften unmittelbar auf ihre Nachkommen vererben, und diese Vererbung findet am vollkommensten statt bei parthenogenetischer Fortpflanzung, weniger vollkommen bei geschlechtlicher Fortpflanzung, wie solches aus unserer ganzen Entwicklung, namentlich schon aus dem Abschnitt über Zellenstaaten hervorgeht. Dass auch Lamarcks Prinzip der Vererbung erworbener Eigenschaften auf tiefere mechanische Ursachen zurückgeführt werden muss, haben wir gleichfalls schon früher gezeigt (S. 44). Speziell für die Tierwelt wollen wir auf eine solche Vererbung noch etwas näher eingehen.

Soll ein Individuum normal weiter leben können, so muss ihm in erster Linie von allen seinen verdauenden Organen die notwendige Nahrung zugeführt werden, wobei der Begriff „Nahrung“ seine weitere Fassung erhält, so dass zb. Luft, Wärme, Feuchtigkeit, Licht usf. für die Ernährung gleichfalls einen massgebenden Einfluss haben. Die wesentlichen verdauenden Organe sind wohl stets aus Fistellen aufgebaut, und je nach ihrer Zusammensetzung, je nach ihrem eigenen Aufbau

nehmen die Fistellen diese oder jene Atomgruppe auf, lassen sie durch ihr Inneres, durch ihre Hohlräume hindurchtreten. Innerhalb der bt. Membranen, im Inneren der verdauenden Organe setzen sich solche Atomgruppen wieder zu Molekeln zusammen, die nun als Nahrung für die übrigen Körperbestandteile dienen.

Je komplizierter der Bestand des in Betracht gezogenen Tierkörpers ist, um so mehr verschiedenartige Molekeln müssen im allgemeinen von den verdauenden Membranen geliefert werden, um so komplizierter ist die Zusammensetzung der Nahrungslymphe, welche aus den verdauenden Organen abfliesst, welche durch transportierende Organe in alle übrigen Organe des Körpers geschafft wird. Es ist einleuchtend, dass zur Lieferung vieler verschiedener Nahrungsmolekeln im allgemeinen viele verschiedene Fistellenarten vorhanden sein werden. Zwar vermag wohl eine einzelne Fistellenart mehrere Arten von Nahrungsmolekeln herzustellen und zu befördern; aber in den höchst entwickelten Tieren sind so überaus viele verschiedenartige Nahrungsmolekeln herbeizuschaffen, dass für sie alle eine einzelne Fistellenart sicher niemals zweckmässig genug funktionieren würde. Ausserdem kann eine bestimmte Nahrungsmolekel zweckmässiger, das heisst mit geringerem Aufwand an Energie, durch eine ganz bestimmte Fistellenart erzeugt werden, als durch eine ganz beliebige. Demnach sorgt das Prinzip der Zweckmässigkeit, das durch den Kampf ums Dasein geleitet und beherrscht wird, dafür, dass zahlreiche verschiedene Fistellenarten nebeneinander existieren, dass sie in ihrer Gesamtheit erst das verdauende Organ zusammensetzen. Sind verschiedene verdauende Organe da, für verschiedene Flüssigkeiten, für Gase usf., so kann und wird jedes von diesen Organen zweckmässigerweise aus verschiedenen nebeneinander bestehenden Fistellenarten aufgebaut sein. Die eine Fistellenart liefert die einen, die andere Fistellenart die anderen Nahrungsmolekeln, und sie alle liefern in ihrer Gesamtheit die sämtlichen notwendigen Nahrungsmolekeln, deren der Körper anfangs zum Aufbau, später zur Weiterentwicklung, schliesslich noch zum Unterhalte bedarf. Alle diese Fistellen haben fortwährend Nahrungsmolekeln zu liefern, sie haben zu „arbeiten“. Je stärker sie arbeiten, je mehr Nahrung sie liefern, um so mehr assimilieren sie neue, mit ihrer eigenen

Substanz gleichartige Molekeln und Fistellen, um so stärker vermehrt sich die bt. Fistellenart selber, nach unserem dritten biologischen Fundamentalsatz. Je weniger die Fistellen arbeiten, um so weniger erhalten sie ihre Art durch Neuansetzen gleicher Fistellen, um so mehr vermindert sich, infolge des Kampfs der Fistellen untereinander, diese Fistellenart im Organismus.

Verbraucht nämlich ein Individuum eine gewisse Molekelart aus seiner Nahrungslymphe mehr und mehr, so nimmt die Konzentration der bt. transportierenden Flüssigkeit in Beziehung auf diese Molekelart in entsprechendem Masse ab. Verdauende Fistellen, die diese Molekelart erzeugen, geben jede von ihnen hervorgebrachte Molekel sofort an die innen befindliche transportierende Substanz der Nahrungslymphe ab, wegen jener geringen Konzentration dieser letzteren. Die bt. verdauenden Fistellen arbeiten immer fort und somit assimilieren sie zugleich. Sie erzeugen ihnen gleiche Fistellen, welche gleiche Nahrungsmolekeln ins Innere abliefern. Daher wird dem entstehenden Mangel an einer bestimmten Molekelart in der Nahrungslymphe in rascher und zweckmässiger Weise abgeholfen. Wird umgekehrt eine andere Molekelart in der Nahrungslymphe von keiner Körpersubstanz zur Assimilation verwendet, so nimmt die Konzentration der Nahrungslymphe an dieser Molekelart zu. Diejenigen verdauenden Fistellen, welche Molekeln dieser anderen Art erzeugen und ins Innere des verdauenden Organs, in die Nahrungslymphe abliefern, vermögen ihre Ablieferung nur um so viel langsamer zu besorgen, je grösser die Konzentration der Nahrungslymphe an solchen Molekeln bereits geworden ist, den Diffusionsgesetzen gemäss. Solche verdauende Fistellen arbeiten also nur langsam, verhältnismässig träge, zuletzt gar nicht mehr. Im Kampf ums Dasein unter den Fistellen unterliegen sie dann gelegentlich gegen andere Fistellenarten, die wegen ihrer beständigen Arbeit fortwährenden Nachwuchs erhalten. Somit verschwinden allmählich diejenigen verdauenden Fistellen, welche keine notwendigen Nahrungsmolekeln zu erzeugen haben. Es stellt sich zwischen den verschiedenartigen verdauenden Fistellen ein Zahlenverhältnis her, das gerade dem normalen Nahrungsbedarf entspricht.

Wenn sich nun während des Lebens eines Tieres seine Konstitution in nicht normaler, in ungewöhnlicher Weise ändert,

wenn zb. das Tier infolge von äusseren Lebensbedingungen mehr Stützsubstanz als andere Individuen seiner Art braucht, so entnimmt die assimilierende Stützsubstanz der Nahrungslymphe mittelbar oder unmittelbar mehr von denjenigen Molekelarten, aus welchen sie zu assimilieren vermag. Die entsprechenden verdauenden Fistellen müssen mehr arbeiten, weil mehr solcher Molekeln zu liefern sind; dieselben vermehren sich entsprechend stark im Verhältnis zu den übrigen Fistellenarten. Braucht aber das Tier mehr kontraktile Substanz, infolge der Notwendigkeit, lebhaftere Bewegungen auszuführen, um seinen Lebensunterhalt zu erlangen, oder um sein Leben zu verteidigen, so nehmen diejenigen verdauenden Fistellen an Menge zu, welche die für den Aufbau der kontraktilen Substanz passenden Nahrungsmolekeln liefern; sie entwickeln sich im Verhältnis stärker als die übrigen verdauenden Fistellen. Zugleich mit solchen Aenderungen der Stützsubstanz, der kontraktilen Substanz, oder anderer Substanzen, die zur Zusammensetzung des Körpers etwas beitragen, wird sich stets die zugehörige nervöse Substanz entsprechend verändern. Beispielsweise werden diejenigen nervösen Fibrillen bz. nervösen Zellen, welche mit der kontraktilen Substanz zusammenarbeiten, gleichfalls stärker wachsen, wenn die kontraktile Substanz stärker wächst, als es den mittleren normalen Verhältnissen entspricht. Oder es kann die nervöse Substanz für sich allein besonders stark in Anspruch genommen sein, etwa durch seelische Vorgänge. In diesem Falle wird wiederum der Verbrauch derjenigen Molekelarten der Nahrungslymphe, aus welchen nervöse Substanz durch Assimilation gebildet wird, ein besonders grosser sein und es nehmen diejenigen verdauenden Fistellen an Menge zu, welche gerade solche Molekelarten hervorbringen.

Aendert sich daher die Lebensweise eines Tieres, muss sich dieses neuen Lebensbedingungen anpassen, verändert es dementsprechend in irgend einer Weise seine Konstitution, erwirbt es mit anderen Worten neue Eigenschaften während seines Lebens, so ändern sich stets nach Massgabe jener Aenderungen zugleich seine verdauenden Fistellen ihrer Anzahl nach, unter Umständen sogar ihrem inneren Aufbau nach. Es ändert sich somit die durch letztere dem Körper zugeführte Nahrungslymphe. Es ändern sich in entsprechender Weise alle Organe

des Tieres, weil sie eine veränderte Nahrungslymphe erhalten, weil sie mit dieser letzteren neuerdings in Korrelation sich stellen müssen. Es kommt eine neue, eine veränderte Korrelation aller Organe des bt. Individuums zu stande, die für die veränderten Lebensbedingungen die günstigste ist; denn der Kampf ums Dasein greift auswählend in die Zahl aller Individuen ein und lässt die ungünstiger veranlagten unter ihnen bald zu Grunde gehen, ihre Art vom Kampfplatz verschwinden.

Wie alle anderen Zellen des Individuums, so erhalten auch die aus diesem hervorgehenden Fortpflanzungszellen bei ihrem Aufbau eine veränderte Nahrungslymphe. Auch diese Zellen müssen sich ihren veränderten Ernährungsbedingungen anpassen. Ist die Nahrungslymphe derart, dass aus ihr besonders wirkungsvolle Stützsubstanzen sich assimilieren lassen, so wird in der Fortpflanzungszelle die Anlage von Stützsubstanzen gleichfalls bevorzugt. Ganz ebenso verhält es sich mit allen anderen Substanzen, welche im elterlichen Individuum in besonders starkem Masse arbeiten müssen und welchen sich demnach die Nahrungslymphe angepasst hat. Sie alle werden auch in der Fortpflanzungszelle stärker entwickelt, die entsprechende Anlage für das neue aus der Fortpflanzungszelle entstehende Individuum wird verstärkt. Daher werden die von einem Individuum, von einem Tier (von Pflanzen gilt das Analoge) während des Lebens erworbenen Eigenschaften in seinen Fortpflanzungszellen eine entsprechend ausgebildete Anlage zur Folge haben, die den Nachkommen die erworbene Eigenschaft teilweise vererbt.

Wir haben hier von Substanzen kurzweg gesprochen. Wenn also beispielsweise die kontraktile Substanz in einem Individuum besonders stark zu arbeiten hat, so kann sich vermöge der in entsprechendem Masse geänderten Nahrungslymphe die gesamte kontraktile Substanz der Nachkommen vermehren und verstärken. Es kann aber unter Umständen nur diejenige kontraktile Substanz sich verstärken, welche bei jenem Individuum besonders in Anspruch genommen wurde, also etwa nur die kontraktile Substanz seiner Beine, oder nur diejenige seiner Kiefer usf. Soll dieses möglich sein, so muss jede kontraktile Substanz jedes einzelnen Muskels der bt. Art in chemischer Beziehung etwas, wenn auch noch so wenig anders aufgebaut sein. Die Molekeln derselben müssen sich in der Anzahl oder

in der Art der Anlagerung der Atome um mindestens ein Atom unterscheiden. In der That ist es wahrscheinlich, dass zwei Muskelstücke aus zwei verschiedenen Teilen des Körpers nicht einander genau gleich seien, sondern dass sie auch in chemischer Beziehung voneinander etwas abweichen, wenn auch noch so wenig. Wir besitzen nur nicht die Mittel, um die feinsten Unterschiede nachzuweisen. Ist aber dieses der Fall, so wird in den Nachkommen gerade derjenige Muskel bz., allgemein gesprochen, dasjenige Organ kräftiger ausgebildet, welches in den Eltern am meisten in Anspruch genommen wurde.

Freilich kann nur ein begrenzter Teil jener im Leben erworbenen Eigenschaft vererbt werden, wenn die Fortpflanzungszelle nicht während der Dauer des Besitzes der erworbenen Eigenschaft von Grund aus neu aus Atomen aufgebaut wird. Wenn nämlich die Grundsubstanzen der Fortpflanzungszellen schon vorgebildet waren vor demjenigen Zeitraum, in welchem die neue Eigenschaft erworben wurde, so haben die Fortpflanzungszellen zugleich die früheren Eigenschaften des Individuums zu vererben. Was demnach vererbt wird, ist für jede Eigenschaft ein gewisser Mittelwert aus allen entsprechenden Eigenschaften, wie das elterliche Individuum dieselben besass während der Zeitdauer, in der am Aufbau der Fortpflanzungszelle im Körperinneren gearbeitet wurde. Stets aber wird eine während der ganzen Dauer des Aufbaus der Fortpflanzungszelle vom elterlichen Individuum besessene, wenn auch kurz vorher erworbene Eigenschaft von demselben auf seinen entsprechenden Nachkommen vererbt.

Vierter biologischer Fundamentalsatz.

Aus den soeben abgeleiteten Ergebnissen können wir nunmehr bezüglich der Nachkommenschaft noch einen weiteren wichtigen Satz ableiten. Unser dritter Fundamentalsatz sagt aus: „Die Funktion der Substanz erhöht ihr Bestreben, sich zu vermehren.“ Damit in einem Zellenstaat die Vermehrung einer Substanz vor sich gehen könne, müssen derselben, wie wir gezeigt haben, die zugehörigen assimilierbaren Nahrungsstoffe in stärkerem Masse zugeführt werden, durch entsprechende Aenderungen der verdauenden Substanzen. Alle anderen Zellen des

Staates erhalten aber die nämlichen Nahrungsstoffe gleichfalls in verstärktem Masse, auch die Fortpflanzungszellen. In diesen wird daher die entsprechende Anlage für die im Zellenstaat stärker funktionierenden Substanzen verstärkt. Wir kommen somit zu dem Schlusse, dadurch dass eine Substanz des betrachteten Individuums stärker arbeitet, als es normalerweise der Fall ist, werden die Anlagen in seinen Fortpflanzungszellen verstärkt, welche die entsprechende Substanz in den Nachkommen entstehen lassen. Weil nun die Keimesentwicklung eine Funktion ist der Anlagen, die die Fortpflanzungszelle von ihren elterlichen Individuen ererbt hat, und weil diese Anlagen ihrerseits in ihrer Entstehung beeinflusst werden durch die Funktion der Organe der elterlichen Individuen, so können wir aus unserem dritten einen vierten biologischen Fundamentalsatz ableiten: Die Funktion der elterlichen Substanz erhöht das Bestreben der entsprechenden Keimsubstanz, sich zu vermehren.

Vererbung geschlechtlicher Eigenschaften.

Wir haben zum mindesten triftige Wahrscheinlichkeitsgründe dafür angegeben (S. 153), dass das männliche Tier in den Spermatozoen diejenigen Fortpflanzungszellen entwickelt, die den Keim für einen weiblichen Nachkommen enthalten, dass das weibliche Tier umgekehrt den Keim für den männlichen Nachkommen entstehen lässt. Gelangen zwei Fortpflanzungszellen zu geschlechtlicher Befruchtung, siegt eine von ihnen im Kampf um die Nahrung über die andere, wie wir dies weiter oben entwickelt haben (S. 27), so werden die Eigenschaften, welche die siegende Fortpflanzungszelle von ihrem elterlichen Individuum mitbringt, einen entsprechend überwiegenden Einfluss haben. Um so mehr werden gerade diese Eigenschaften für den Nachkommen den Ausschlag geben, je stärker die stärkere Fortpflanzungszelle bezüglich derselben ist im Vergleich zu der anderen, mit welcher sie sich vereinigt oder welche sie in sich aufgenommen hat. Hat die siegende Fortpflanzungszelle zugleich das Geschlecht des entstehenden Nachkommen bestimmt, ist sie also auch in Beziehung auf die geschlechtliche Substanz die kräftigere gewesen (S. 158), so werden sich die Eigenschaften

ausgesprochenermassen vom Vater auf die Tochter, von der Mutter auf den Sohn vererben. Wenn es sich aber um primäre oder sekundäre Sexualcharaktere handelt, die in dieser Weise nicht unmittelbar vererbbar sind, so kommt eine scheinbare Vererbung derselben vom Onkel auf den Neffen (vom Bruder der Mutter auf den Sohn), von der Tante auf die Nichte (von der Schwester des Vaters auf die Tochter) zu stande, oder richtiger ausgedrückt: Die Sexualcharaktere vererben sich vorzugsweise vom Grossvater mütterlicherseits auf seinen Enkel, von der Grossmutter väterlicherseits auf ihre Enkelin. Dass von allen übrigen Ahnen ein Teil ihrer Eigenschaften auf die Nachkommen mitvererbt werden muss, geht aus unseren bisherigen Auseinandersetzungen bereits deutlich genug hervor. Denn die ersten Stadien der Keimesentwicklung höher differenzierter Tiere, die ersten Molekelbildungen derselben werden nicht in den elterlichen, vielleicht auch nicht in den grosselterlichen Individuen, sondern noch früher ihren Anfang nehmen.

Vererbung erworbener Eigenschaften geschlechtsloser Tiere; Ameisenstaaten.

Ein Hauptargument gegen Lamarcks Prinzip der Vererbung erworbener Eigenschaften wurde hergeleitet aus dem Verhalten und aus der Entwicklung von Ameisenstaaten, Bienenstaaten, Termitenstaaten. In einem Ameisenstaat giebt es Königinnen, welche ganz allein Eier legen für die Nachkommenschaft, Männchen, welche für die Befruchtung der Königinnen sorgen, Arbeiterinnen, welche Wohnungen bauen, welche die Nahrung herbeischaffen, Soldaten, welche den Staat gegen Angriffe äusserer Feinde schützen, oder welche selber andere Tiere, andere Ameisenstaaten angreifen. Offenbar sind gewisse Eigenschaften, die die Soldaten in ihrem Leben erworben haben, ihnen im Kampf sehr förderlich. Es können sich scharfe Beisswerkzeuge ausgebildet haben, sowie überhaupt ein sehr kräftiger Körperbau, kräftige Beine und Füsse. Bei den Arbeiterinnen dagegen sind ganz andere Eigenschaften zweckmässig geworden; bei ihnen sind Werkzeuge für den Transport der Nahrung, für den Aufbau einer passenden Wohnung, Werkzeuge für den Transport, für die Pflege der Eier und für die Auffütterung der

Larven von grösserem Nutzen geworden in Bezug auf die Erhaltung, die Fortpflanzung der bt. Art von Ameisenstaaten. Nun haben aber Soldaten und Arbeiterinnen in der Regel keine Nachkommen. Wie sollten sich also in diesem Falle, wenn er allein in Betracht kommt, die von Soldaten oder von Arbeiterinnen im Leben erworbenen Eigenschaften vererben können auf den jungen Nachwuchs desselben Ameisenstaates? Aehnlich verhält es sich auch mit Bienenstaaten und mit Termitenstaaten. Muss man also nicht annehmen, dass die zweckmässigen Eigenschaften der Soldaten, der Arbeiterinnen des Ameisenstaates oder anderer Tierstaaten nur dem Darwinschen Selektionsprinzip zufolge im Kampf ums Dasein sich entwickelt haben, ohne jede Vererbung erworbener Eigenschaften, wie die Bekämpfer des Lamarckschen Prinzips es thun? Wenn aber bei Ameisen, bei Bienen, bei Termiten und bei anderen Tieren mit weit differenzierten, hochentwickelten Organen die Natur im stande war, ohne Vererbung erworbener Eigenschaften die vollkommeneren Eigenschaften hervorzubringen, warum soll sie dies nicht in allen übrigen Fällen, auch bei den höchst entwickelten Lebewesen, zu erreichen im stande sein? Damit bestreiten aber viele Biologen zugleich die Möglichkeit der Vererbung erworbener Eigenschaften überhaupt.

Dieser Einwand lässt sich indessen meines Erachtens nicht mehr aufrecht erhalten. Die von Soldaten, von Arbeiterinnen im Leben erworbenen Eigenschaften vererben sich teilweise auf die späteren Nachkommen des bt. Staates, auch wenn jene Tiere selber durchaus keine Nachkommen erzeugen können. Denn der Ameisenstaat bildet in gewisser Beziehung ein zusammenhängendes, abgeschlossenes Ganzes, ganz analog wie der Zellenstaat. In jenem mögen die Soldaten etwa den Stützzellen des Zellenstaates, die Arbeiterinnen den verdauenden, den transportierenden Zellen, die Männchen und die Königinnen denjenigen Zellen entsprechen, welche Fortpflanzungszellen abscheiden usf.

Es sind die Arbeiterinnen, die für den gesamten Ameisenstaat die notwendige Nahrung herbeizuschaffen haben. Sie besorgen dies in genügender Weise; denn wenn solches nicht der Fall wäre, so würde eben der Ameisenstaat zu Grunde gehen. Sie sorgen also dafür, dass alle Nahrung, die von irgend einem wesentlichen Individuum des Staates notwendigerweise verbraucht

werden muss, stets in genügendem Vorrat zur Stelle sei. In dem Masse, in welchem solche Nahrung von diesen oder von jenen Individuen des Ameisenstaates aufgebraucht wird, schaffen die Arbeiterinnen neue Nahrung herbei. Dies ist eine von den Bestimmungen, denen die Arbeiterinnen genügen müssen. Dem Selektionsprinzip zufolge sind im Kampf ums Dasein, den die Ameisenfamilien führen mussten, allmählich Ameisenfamilien mit solchen Arbeiterinnen entstanden.

Die Arbeiterinnen werden in mehr oder weniger grossem Bereich im stande sein, verschiedenartige Nahrung zu erkennen, zu unterscheiden, und solche Nahrung werden sie immerfort herbeischaffen. Ist die Nahrung, die für den Ameisenstaat zum Unterhalt und zur Fortentwicklung notwendig ist, der Art nach sehr verschieden, also beispielsweise teils vegetabilisch, teils animalisch, ist sie vielleicht, soweit es sich um geformte Nahrung handelt, auch der Grösse nach sehr verschieden, so werden die einen Arbeiterinnen, je nach ihrer Konstitution, mehr oder ausschliesslich diese, die anderen aber mehr oder ausschliesslich jene Nahrung herbeischaffen.

Nun wollen wir den Fall annehmen, dass eine gewisse Art der von den Arbeiterinnen herbeigeschafften Nahrung in ganz besonders starkem Masse im Ameisenstaate verbraucht werde. Die Arbeiterinnen, die gerade diese Art der Nahrung herbeischaffen, haben demnach mehr zu arbeiten, um ihre Aufgabe zu erfüllen, als die übrigen nahrungsuchenden Arbeiterinnen. Denn die letzteren sehen noch genügende Vorräte der von ihnen zu besorgenden Nahrung vor sich aufgehäuft; sie haben nicht nötig, streng zu arbeiten, sie arbeiten demnach weniger.

Wählen wir ein ganz spezielles Beispiel zur Erläuterung dieser Vorgänge. Die Soldaten haben äusseren Verhältnissen zufolge, im Kampf mit Nachbarstaaten, oder mit anderen Feinden des Ameisenstaates gewisse Eigenschaften im Leben erworben. Dementsprechend musste ihr innerer Körperbau sich ändern. Die Soldaten mussten ihre Nahrungsweise ändern. Sie verbrauchen von nun an mehr Nahrung von der einen, weniger von der anderen Art, um die von ihnen erworbene günstigere Eigenschaft zu bewahren oder noch zu verbessern. Im Vorratsraum der Ameisen, im Speicher, nimmt die stärker verbrauchte Nahrung stärker ab als bisher, und sofort sorgen die

bt. Arbeiterinnen dafür, dass diese Nahrung in um so reichlicherer Menge wieder herbeigeschafft wird. Der aufgespeicherte Vorrat muss eine der Periode eines allfälligen Nahrungsmangels (bei anhaltenden Regengüssen usf.) entsprechende Grösse besitzen, soll der Ameisenstaat den Kampf ums Dasein erfolgreich bestehen können. Demnach ist fortan der Vorrat an dieser stärker verbrauchten Nahrung prozentualisch ein grösserer, im Vergleich zu dem gesamten Nahrungsvorrat, als er es bisher gewesen war.

Die Arbeiterinnen, die gerade diese Nahrung in verstärktem Masse herbeischaffen, verbrauchen die für die Leistung ihrer Arbeit zweckdienliche Nahrung gleichfalls in verstärktem Masse. Sie oder andere Arbeiterinnen schaffen also die letzterwähnte Nahrung wiederum in so reichlicher Menge herbei, dass auch diese fortan prozentualisch in verstärktem Masse vorrätig ist. So setzt sich der Gesamtnahrungsvorrat im Speicher des Ameisenstaates zusammen aus allen möglichen Nahrungsarten, jede Art prozentualisch in dem Masse vertreten, in welchem sie von sämtlichen Individuen des Staates in einem gleichen Zeitraum verbraucht wird. Dieser Verbrauch entspricht aber teils den von den Ameisenindividuen ererbten, teils den von ihnen im Leben erworbenen Eigenschaften. Aendert sich wegen Erwerbung neuer Eigenschaften durch diese Individuen der Verbrauch der Nahrungsarten, so ändert sich in entsprechendem Masse der prozentualische Bestand der vorrätigen Nahrungsarten im Speicher.

Die geschlechtlichen Tiere unter den Ameisen, die Männchen, die Königinnen, sind nicht für die Aufsuchung und Herbeischaffung geeigneter Nahrung eingerichtet. Sie gehen einfach in den Speicher, in die Speisekammer des Staates, holen sich dort ihre Nahrung, oder die Arbeiterinnen bringen ihnen dieselbe. Die geschlechtlichen Tiere müssen gelegentlich von allen vorhandenen Nahrungsarten fressen. Wenn sie zwar die Nahrung selber im Speicher holen und dabei wählerisch sind, so können sie gewisse Nahrungsarten bevorzugen, solange genügende Vorräte da sind. Allein es kommen hie und da Perioden des Nahrungsmangels, und in diesen müssen sie sich an der eben noch vorhandenen Nahrung genügen lassen. So erhalten diese geschlechtlichen Tiere unter allen Umständen wenigstens im

Durchschnitt auch mehr von denjenigen Nahrungsarten, welche nunmehr im Speicher prozentualisch stärker vertreten sind, als bis dahin, zufolge der Erwerbung neuer Eigenschaften durch die geschlechtslosen Tiere, durch die Soldaten, durch die Arbeiterinnen, oder durch beide zugleich. Es gelangen also diejenigen Nahrungsarten, welche in den geschlechtslosen Tieren die neu erworbenen Eigenschaften hervortreten liessen und welche diese Eigenschaften in ihnen erhalten, auch in das Körperinnere der geschlechtlichen Tiere. Alle Organe, alle Zellen dieser Tiere werden mit den entsprechend veränderten verdaulichen und assimilierbaren Nahrungsstoffen versehen, auch die Fortpflanzungszellen in denselben. Die Nahrungsstoffe, die zb. jenen anfänglich betrachteten Soldaten für die Erwerbung neuer Eigenschaften und für den Unterhalt derselben günstig sind, gelangen daher in verstärktem Masse in die Fortpflanzungszellen der Männchen und der Königinnen und bilden hier diejenigen Substanzen in verstärktem Masse aus, welche die gleichen Eigenschaften in den Nachkommen bedingen, wenn sich aus den Fortpflanzungszellen Soldaten entwickeln.

Ganz analog verhält es sich, wenn auch die Arbeiterinnen, oder wenn nur diese, oder wenn die geschlechtlichen Tiere selber neue Eigenschaften während ihres Lebens erwerben. Die Anlage zu diesen während des Lebens erworbenen Eigenschaften kehrt mittelbar, auf dem Umweg durch die Nahrungsvorräte des Speichers hindurch, oder im letzteren Fall ziemlich unmittelbar in den Fortpflanzungszellen wieder. Die von den geschlechtslosen Tieren des Ameisenstaates im Leben erworbenen Eigenschaften werden daher doch zum Teil auf die Nachkommen vererbt, wenn auch nur die geschlechtlichen Tiere allein Nachkommen hervorzubringen im stande sind. Die analogen Vorgänge müssen sich abspielen in Bienenstaaten, in Termitenstaaten; ähnliche Verhältnisse liessen sich auch in menschlichen Staaten auffinden.

Man könnte einwenden, die Nahrung der Ameisen sei doch eine gar zu verschiedenartige. Bald schleppen die Arbeiterinnen dieses, bald jenes Tier, bald diesen, bald jenen Samen herbei, sie gewinnen demnach diese oder jene organische Nahrung, wie es gerade der Zufall mit sich bringe. Indessen haben die Arbeiterinnen Organe, welche ihnen eine gewisse Auswahl unter

allen Nahrungsobjekten nicht nur ermöglichen, sondern welche eine solche sogar nötig machen. Demzufolge werden die Arbeiterinnen stets, wenn ihnen die Wahl gelassen wird, eine bestimmte Nahrung mit Vorliebe herbeischaffen. Nur wenn die bevorzugte nicht erhältlich ist, holen sie andere Nahrung herbei. Wenn sich nun auch der Gesamtbestand der Nahrungsvorräte im Speicher seiner Zusammensetzung nach mit der Jahreszeit, mit dem Witterungswechsel, mit den Temperatur-, den Lichtverhältnissen fortwährend ändert, so werden doch im Lauf der Jahre, der Jahrzehnte, Jahrhunderte gewisse Mittelwerte prozentualischer Zusammensetzungen der Nahrungsbestände in den Speichern der Ameisenstaaten erreicht werden. Diese Mittelwerte bleiben sich gleich, wenn einmal die Eigenschaften der Individuen des Staates zweckentsprechend ausgebildet, wenn sie den Lebensbedingungen aufs vollkommenste angepasst sind. Sie ändern sich aber, wenn einzelne Individuenarten im Staate sich ändern, wenn sie äusseren Verhältnissen zufolge neue Eigenschaften während ihres Lebens erwerben. Den Aenderungen dieser Mittelwerte entspricht aber die Aenderung der Nachkommenschaft. Ein plötzliches Hervortreten stark veränderter Eigenschaften bei den Nachkommen eines Ameisenstaates wird allerdings niemand erwarten. Vielmehr werden neue Eigenschaften nur allmählich im Leben erworben, und noch weniger schnell übertragen sich in der Regel die erworbenen Eigenschaften merklich auf die Nachkommen.

Vererbung erworbener Eigenschaften bei chitingepanzerten Arthropoden.

Als weiterer Beleg für die Anschauung, dass eine Vererbung erworbener Eigenschaften durchaus nicht notwendig vorausgesetzt werden müsse, sind Tiere angeführt worden, die aus Larven sich zu ganz neuen Formen entwickeln, mit fertig ausgebildeten im weiteren Leben fortwährend sich gleich bleibenden Organen, wie dies bei vielen Arthropoden mit ihren chitingepanzerten Körperteilen der Fall ist. Wie sollten diese Tiere durch Vererbung erworbener Eigenschaften im Lauf der Zeit ihre Chitinpanzer verändern und dadurch äusseren Lebensbedingungen sich mehr und mehr anpassen, wenn doch diese

Panzer durch den Gebrauch stets nur abgenutzt, niemals neu gebildet werden?

Es ist mir keine Beobachtung bekannt, welche darthut, dass für äusserlich verletzte Teile des Chitinpanzers an der Innenfläche des letzteren neue Chitinmasse durch die chitinabscheidenden Zellen angelagert wird. Möglicherweise findet eine solche Anlagerung in so geringer Menge statt, dass sie bis dahin der Wahrnehmung entgangen ist. Aber stattfinden kann dieselbe, wie mir scheint, infolge der Mehrarbeit, die die chitinabscheidende Oberhaut an der bt. Stelle zu leisten hat, weil sie nunmehr äusseren Unbilden stärker ausgesetzt ist. Es ist nicht wahrscheinlich, dass die Chitinpanzer abgestorbene, völlig tote Gebilde seien. Wären sie dies, so würden sie wohl ihre Leistungsfähigkeit schneller einbüssen, als es in Wahrheit der Fall ist, ähnlich wie etwa unsere abgestorbenen Oberhautteile. Sie würden brüchig werden, bei starken Beanspruchungen zerreissen, zerspringen, und dadurch würde das bt. Tier einem früheren Tode entgegengebracht.

Vermutlich sind aber die Chitinpanzer durch nervöse Fibrillen, durch nervöse Substanzen, die in alle ihre kleinsten Teilchen eindringen, an das nervöse Zentralorgan angeschlossen. Diese nervösen Substanzen bz. Fibrillen waren namentlich thätig bei der Abscheidung des Chitins im Larven- bz. im Puppenzustande. Sie werden auch im fertig entwickelten Tier gereizt durch jeden Druck, jeden Stoss, den der Chitinpanzer erfährt. Sie „arbeiten", wenn sie gereizt werden, verbrauchen dabei ihre spezifischen Nahrungsstoffe. An Stellen, an welchen solche Reize am häufigsten vorkommen, an welchen beispielsweise nach Beschädigungen des Chitinpanzers Reize besonders leicht zu stande kommen, entwickeln sich die entsprechenden Nerven stärker als an anderen Stellen. Die für die bt. Assimilation nötigen Nahrungsstoffe nehmen im Körperinneren verhältnismässig zu, auch in den Fortpflanzungszellen. Demnach entwickelt sich in den letzteren diejenige nervöse Substanz stärker, welche im Nachkommen zur bt. Chitinpanzerstelle hinführen, welche in seinem Entwicklungszustande die Abscheidung des Chitins an der bt. Stelle einleiten wird. Gerade an dieser Stelle wird daher besonders stark Chitin abgelagert. Diejenige Stelle des Chitinpanzers, welche beim elterlichen Individuum während

des Gebrauchs übermässig abgenutzt wurde, wird beim Nachkommen verstärkt, was einer Vererbung erworbener Eigenschaften vollständig gleichkommt, wenn auch allenfalls das Muttertier selbst nicht schon die veränderte Eigenschaft, sondern nur den Anstoss zur Veränderung, zur Verbesserung derselben erhalten hat. Der Umstand, dass aus den Eiern zuerst Larven entstehen, dass erst aus diesen die geschlechtlich entwickelten Tiere hervorgehen, kann den beschriebenen Zusammenhang nicht aufheben. Denn wie sehr auch die Larve in ihrer äusseren Form, in ihren Organen und Funktionen von dem Geschlechtstier abweichen mag, sie enthält eben in sich doch alle Anlagen vorgebildet, die zur Entwicklung eines Geschlechtstieres nötig sind.

---

*Litteratur.

(BD.) A. A. Böhm und M. v. Davidoff, Histologie des Menschen, Wiesbaden 1895 (2. Aufl. Wiesbaden 1898).
(CC.) C. Claus, Lehrbuch der Zoologie, 2. Aufl. Marburg u. Leipzig 1883.
(LD). L. Döderlein, Phylogenetische Betrachtungen, Biolog. Centralblatt 7. Nr. 13. 1887.
(EH.) E. Haeckel, Natürliche Schöpfungsgeschichte, 8. Aufl. Berlin 1889 (9. Aufl. Berlin 1898).
(EH_1). E. Haeckel, Anthropogenie, 4. Aufl. Leipzig 1891.
(OH.) O. Hertwig, Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte, 5. Aufl. Jena 1896 (6. Aufl. Jena 1898).
(OH_1.) O. Hertwig, Die Zelle und die Gewebe I, Jena 1893.
(OH_2.) O. Hertwig, Die Zelle und die Gewebe II, Jena 1898.
(OH_3.) O. Hertwig, Zeit- und Streitfragen der Biologie I, Jena 1894.
(SN.) E. Strasburger, F. Noll, H. Schenck, A. F. W. Schimper, Lehrbuch der Botanik, 2. Aufl. Jena 1895 (3. Aufl. Jena 1898).
(WR.) W. Roux, Programm und Forschungsmethoden der Entwicklungsmechanik der Organismen, Leipzig 1897.
(MV.) M. Verworn, Allgemeine Physiologie, 2. Aufl. Jena 1897.
(AW.) A. Weismann, Ueber die Vererbung, Jena 1883.
(AW_1.) A. Weismann, Allmacht der Naturzüchtung, Jena 1883.
(AW_2.) A. Weismann, Aeussere Einflüsse als Entwicklungsreize, Jena 1894.
(AW_3.) A. Weismann, Neue Gedanken zur Vererbungsfrage, Jena 1895.
(AW_4.) A. Weismann, Ueber Germinalselektion, Jena 1896.
(AW_5.) A. Weismann, Hypothese einer Vererbung von Verletzungen, Jena 1889.

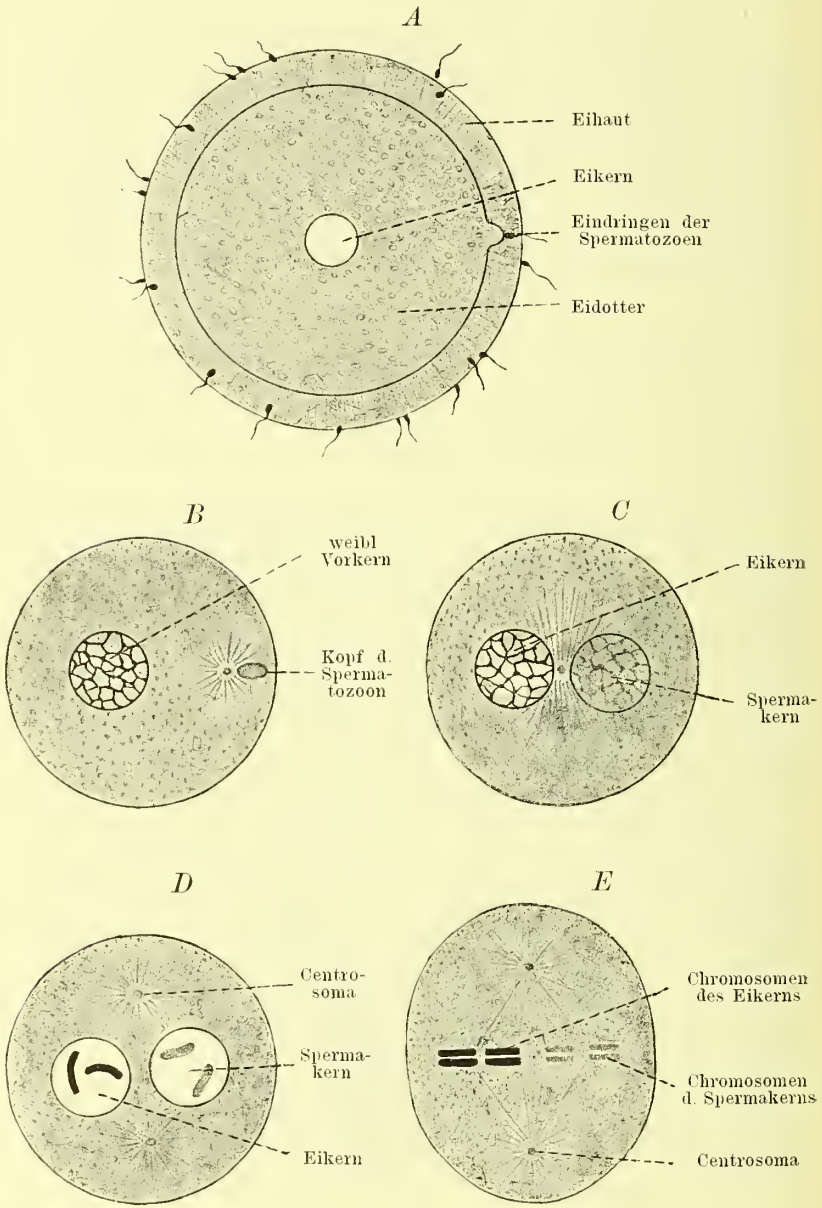
(AW$_6$.) A. Weismann, Ueber die Dauer des Lebens, Jena 1882.
(AW$_7$.) A. Weismann, Ueber den Rückschritt in der Natur, Freiburg i. B. 1886.
(AW$_8$.) A. Weismann, Botanische Beweise für eine Vererbung erworbener Eigenschaften, Biolog. Centralblatt 8. Nr. 3 u. 4. 1888.

Fast bei allen Organismen ist die Zellvermehrung durch Teilung, also die ungeschlechtliche Fortpflanzung, keine unbegrenzte. Einmal muss wieder zur Abwechslung Zellvermehrung durch Befruchtung eintreten (OH$_1$. 202). Eine Spore kann sich zur Geisselzelle, zur Schwärmspore entwickeln. Die Sporenhaut wird durchbrochen und bleibt leer zurück; die Schwärmspore schwimmt mit ihrer Geissel davon (SN. 265 [263]). Manche ziemlich hoch entwickelten Tiere, zb. Schnecken, sind Zwitter. Man findet die Zwitterdrüseneinrichtung bei vielen Pulmonaten und Opisthobranchien (CC. 568). Auch bei Säugetieren können sg. Zwitterbildungen vorkommen (CC. 798). Den regelmässigen Generationswechsel findet man bekanntlich sehr häufig (OH$_1$. 204). Zahlreiche Generationen von Blattläusen sind vivipar, erst im Herbst treten ovipare Individuen auf (CC. 511).

Die Eizellen haben die Reduktionsteilung zu bestehen (OH$_1$. 180), welche einer Zellknospung entspricht und zur Eireifung führt (OH$_1$. 184). Auch die Samenreife erfolgt durch Reduktionsteilung (OH$_1$. 189). Die Reifeerscheinungen beim Ei sind bei verschiedenen Organismen doch etwas verschieden. Sie erfolgen bald vor, bald während des Eindringens des Spermatozoons (MV. 206, 207). Die Reduktion der Kernmasse in den Geschlechtszellen scheint vor der Befruchtung, aber auch unmittelbar nach derselben erfolgen zu können (OH$_1$. 192).

Die Befruchtung ist eine Konjugation von zwei Zellen: der beiden Fortpflanzungszellen (Fig. 46) (BD. 46 [43]). Bei Kryptogamen gelangen die Spermatozoiden im Wasser schwimmend zu den Eiern hin (SN. 57 [72]). Es verschmelzen das männliche Spermatozoon und das weibliche Ei, es verschmelzen alle ihre Bestandteile, hauptsächlich ihre Kerne (EH. 296, 297, [296]). Die Spermatozoen haben eine grosse Lebensfähigkeit (BD. 248 [242]) (OH. 21), und wenn sie frei schwimmen, zeichnen sie sich gewöhnlich durch eine lebhafte Beweglichkeit aus (EH. 267). Bei gewissen Arten (Pflanzenarten) sind Aepfelsäure (bei Farnen), Rohrzucker (bei Laubmoosen) als Lockmittel für die Samen-

fäden erkannt worden (OH_1. 98). Aeusserst geringe Mengen sind wirksam (MV. 445). Eine grosse Anziehungskraft geht von reifen Eiern auf die Spermatozoiden der gleichen Art aus,



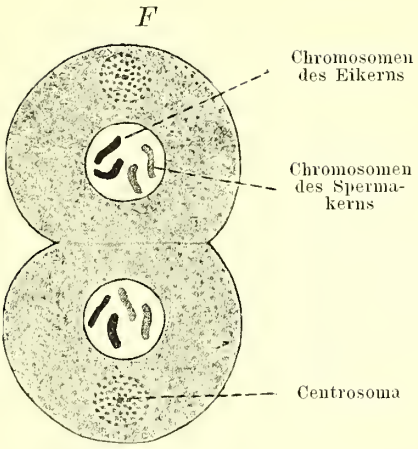


Fig 46.

Schema des Befruchtungsvorganges nach Boveri. A Das Ei ist von Spermatozoen umschwärmt; eines von ihnen dringt in das Ei eben ein. Ihm entgegen sendet der Eidotter einen hügelartigen Fortsatz aus (Kopulationshügel). B Der Schwanz des Spermatozoons ist verschwunden. Neben dem Kopfe desselben befindet sich ein Centrosoma mit Polstrahlung. C Die Vorkerne nähern sich einander. In D haben sich aus den Spiremen in den Vorkernen Chromosomen gebildet. Das Archiplasma hat sich geteilt. E Die verdoppelten Chromosomen des Ei- und Spermakerns liegen im Aequator des Eies. F Das Ei hat sich geteilt; in beiden Tochterkernen sieht man sowohl Chromosomen des Ei- als auch des Spermakerns in gleicher Anzahl.

aber nur der gleichen (OH_1. 241). Diese Kraft wirkt auf grosse Distanzen, wie eine Fernewirkung (OH_1. 242). Auch der Empfängnisfleck der Eier muss auf solche Fernewirkungen zurückgeführt werden (OH_1. 243). Nach Pfeffer ist die Fernewirkung chemischen, nach Nägeli elektrischen Ursprungs (OH_1. 244). Die Pfeffer'sche Anschauung ist wohl die leichter verständliche. Nach Haeckel leitet „eine chemische Sinnesfunktion, die man als Geruch bezeichnen kann", die Spermatozoen zum Ei (EH_1. 141). Nicht alle anlockenden Stoffe sind unschädlich oder haben einen Nährwert (OH_1. 99). Van Beneden hat gefunden, dass durch die Kernsegmente bei der Teilung gleich viel männliches wie weibliches Nuclein in jede Tochterzelle gebracht werde (OH_1. 210). Das Ei und der Samenfaden enthalten stets äquivalente Mengen von wirksamer Kernsubstanz. Oft besitzen dagegen die Samenfäden noch weniger als den hunderttausendsten Teil vom Protoplasma des Eies (OH_1. 218). Hauptsächlich deshalb hat wohl Hertwig den Satz aufgestellt, nur die Kernsubstanzen seien bei der Befruchtung die wirksamen Stoffe, auf deren Vereinigung es bei der Befruchtung ankomme (OH_1. 220). Es gebe keine spezifisch männlichen und keine

spezifisch weiblichen Befruchtungsstoffe; die Kernsubstanzen seien ganz gleiche, sie stammen nur von verschiedenen Individuen (OH_1. 221), die Befruchtung sei nicht ein Ausgleich sexueller Gegensätze (OH_1. 223). Nach dieser Theorie müsste, wie mir scheint, eine reife weibliche Fortpflanzungszelle auch mit einer anderen reifen weiblichen Fortpflanzungszelle sich befruchten lassen, durch Einbringen eines Kernes ohne Dotter in jenes andere Ei mit Dotter, und es müsste bei dieser Konjugation je nach Umständen entweder ein männlicher oder auch ein weiblicher Nachkomme entstehen können, was doch unwahrscheinlich ist. Kernlose Stücke von Seeigeleiern lassen sich durch Samen befruchten. Sie lassen nachher Kernspindeln erkennen, können sich sogar zu entsprechend kleineren Larven entwickeln; nur der Samenkern ist dann wirksam (OH_1. 240). Ob aber in diesem Fall auch die analoge Befruchtung durch Kerne von anderen Seeigeleiern möglich sein wird, ist eine andere Frage. Bei der Kopulation ist die vom Samenfaden abstammende Substanz im Furchungskerne unter Umständen noch lange zu erkennen (OH_1. 208).

Die experimentellen Erfahrungen, die sich auf die vor der Befruchtung notwendigen Reifungserscheinungen beziehen, hat Herbert Spencer in das Axiom zusammengefasst, dass „ihre organischen Einheiten (die Micellen Nägelis) sich einem Gleichgewichtszustand genähert haben“ und dass „ihre gegenseitigen Anziehungen sie verhindern, ihre Anordnung auf die Einwirkung äusserer Kräfte hin leicht zu verändern“. Durch Befruchtung, durch Vereinigung mit ungleichen Micellen wird jener Gleichgewichtszustand gestört, das Leben ist also wieder ermöglicht. Die Befruchtung entspricht demnach einem Verjüngungsprozess (OH_1. 254). Jener Gleichgewichtszustand, der dem Reifezustand entspricht, wird dadurch erreicht, dass Ei- und Spermazelle vor der Konjugation die Hälfte ihres Chromatins einbüssen. Nach der Vereinigung beider Kerne ist dann wieder die normale Chromatinmenge im Ei vorhanden (BD. 46, 47 [43, 44]). Die Reduktionsteilung ist die Vorbedingung für den Befruchtungsprozess, bei der Ei- und bei der Samenzelle (OH. 39). Durch zweimalige inäquale Teilung entstehen zwei Richtungskörperchen (Fig. 47) (OH. 31). Dabei bleibt nur die Hälfte der ursprünglichen chromatischen Elemente im Eikern; die Richtungs-

körperchen erhalten den Rest (BD. 47). Die Richtungskörperchen können als Abortiveier aufgefasst werden (OH. 39). Durch analoge Kernteilung kommt die Reduktion der Kern-

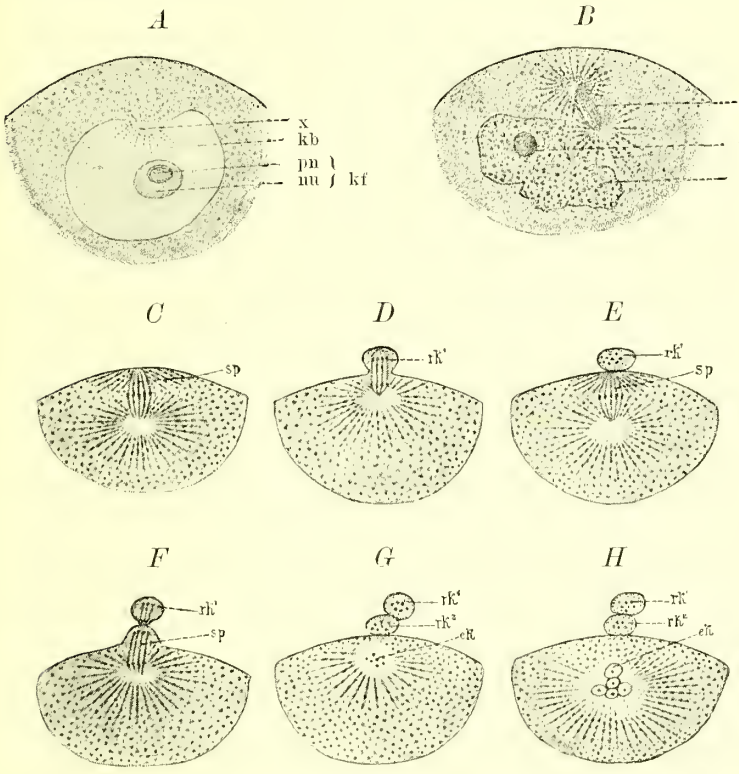


Fig. 47.

A, B. Ausschnitt aus Eiern von Asterias glacialis. Sie zeigen die Rückbildung des Keimbläschens (kb). In Figur A beginnt dasselbe zu schrumpfen, indem ein Protoplasmahöcker (x) mit einer Strahlung in sein Inneres eindringt und die Membran daselbst auflöst. Der Keimfleck (kf) ist noch deutlich, aber in zwei Substanzen, Nuclein (nu) und Paranuclein (pn) gesondert. In Figur B ist das Keimbläschen (kb) ganz geschrumpft, seine Membran ist aufgelöst, der Keimfleck (kf) nur noch in kleinen Resten vorhanden, in der Gegend des Protoplasmahöckers der Figur A ist eine Kernspindel (sp) in Ausbildung begriffen.
C—H. Bildung der Polzellen bei Asterias glacialis. In Figur C ist die Kernspindel (sp) an die Oberfläche des Eies gerückt. In Figur D hat sich ein kleiner Hügel (rk^1) gebildet, der die Hälfte der Spindel aufnimmt. In Figur E ist der Hügel zu einer Polzelle (rk^1) abgeschnürt. Aus der Hälfte der früheren Spindel ist wieder eine zweite vollständige Spindel (sp) entstanden. In Figur F wölbt sich unter der ersten Polzelle ein zweiter Hügel hervor, der sich in Figur G zur zweiten Polzelle (rk^2 abgeschnürt hat. Aus dem Rest der Spindel entwickelt sich der Eikern (ek) in Figur H. Nach O. Hertwig.

masse auch in den männlichen Geschlechtszellen zu stande (BD. 47).

Bei gewissen Eiern hat man einen Porus, bei anderen einen

Empfängnisfleck beobachtet, einen Empfängnishügel, an welchem die Spermatozoen allein eindringen können. Nur hier kann die Befruchtung stattfinden (OH_1. 229). Vielleicht liegt bei manchen Arten der Empfängnishügel gerade da, wo das erste Spermatozoon ankommt. Gelegentlich beobachtete man eine Knickung der Samenbahn, der Pigmentstrasse des Samenfadens, welche sogar einem spitzen Winkel entsprechen kann (WR. 131). Wahrscheinlich handelt es sich hier um ungleiche Dottermaterialien, wobei das Spermatozoon im einen Dottermaterial (vielleicht in einer Art Dotterstrang) leichter den Eikern erreicht, als im anderen. Auch im Griffel der Pflanzenblüten beobachtet man das Treiben von Pollenschläuchen in mehr oder weniger bestimmten langen Bahnen (SN. 376 [374]).

Das reife Vogelei, aus dem Eierstock ausgetreten, wird im Eileiter befruchtet (EH_1. 120). Nur ein Spermatozoon dringt in das Ei ein, leitet die Befruchtung ein. Die übrigen werden vermutlich resorbiert. Vom Empfängnishügel ausgehend wird sofort eine dünne Dotterhaut abgeschieden, die kein weiteres Spermatozoon mehr eintreten lässt (EH_1. 142) (OH. 43). Um den Spermakern im Ei bildet sich sogleich ein Strahlenmantel, eine Sternfigur. Diese wandert mit dem Spermakern immer rascher gegen den Eikern hin. Der Spermakern vergrössert sich, ist aber wohl bis zur Vereinigung kleiner als der Eikern (EH_1. 142). Denn das Spermatozoon ist in der Regel auch dem Kerninhalte nach viel kleiner, als die vom Weibchen abstammende Fortpflanzungszelle, eine Folge der Arbeitsteilung zwischen Ei und Sperma (OH. 20). Dementsprechend ist aber die feinere Struktur der Spermatozoen sehr kompliziert (MV. 204). Sowohl der Eikern als der Samenkern besitzt ein eigenes Polkörperchen; nach der Befruchtung sind also im Ei zwei Polkörperchen vorhanden, welche sich teilen; es entstehen zwei Paare von Polkörperchen, das vom Sperma- und das vom Eikern herrührende. Je eines von diesen und eines von jenen vereinigen sich dann, und es entstehen die zwei zur Zellteilung führenden Polkörperchen (OH_1. 164). Bei Beginn der Kernteilung treten die Polkörperchen unmittelbar an der Oberfläche der Kernmembran auf (OH_1. 165). Nach van Beneden und Boveri vermehren sich die Polkörperchen durch Selbstteilung (OH_1. 164).

Bei niederen Lebewesen sind äussere Einflüsse auf die Befruchtung und die Geschlechtsentwicklung des Nachkommen vielfach nachgewiesen worden. Reichliche Nahrungszufuhr hindert oder schwächt die Befruchtungsbedürftigkeit, Nahrungsentziehung animiert zu sofortiger Paarung (OH_1. 235). Klebs hat den Einfluss der äusseren Lebensbedingungen (Zimmerkultur) auf die Bildung der Geschlechtszellen für das Wassernetz (Hydrodiktyon) nachgewiesen (OH_1. 235). Die Samenbildung der Pflanzen hängt mit der mehr oder weniger reichlichen Nahrungszufuhr zusammen (OH_1. 236). Das Eintreten der geschlechtlichen Befruchtung bei Infusorien, die sich durch etwa 300 Generationen ungeschlechtlich fortpflanzen (Leucophrys patula), wird durch Nahrungsabnahme beschleunigt (OH_1. 213). Eine Algenart (Ectocarpus) entwickelt Gameten (Geschlechtszellen), welche sich nur wenige Minuten zur Befruchtung eignen, welche nachher, wenn sie nicht befruchtet werden, sich doch parthenogenetisch zu selbständigen Wesen entwickeln (OH_1. 236). Manche Hydatinaweibchen (Rädertiere) legen nur Eier für weibliche Embryonen, andere nur solche für männliche Embryonen. Temperaturänderung zu bestimmter Zeit hat hierauf einen wesentlichen Einfluss. Bei hoher Temperatur (über Zimmertemperatur) giebt es fast nur Männchen, bei tiefer Temperatur fast nur Weibchen (OH_3. 119). Ueberhaupt giebt es in manchen Pflanzen- und Tierarten bei extremen Temperaturunterschieden entweder nur die männliche oder nur die weibliche Form (OH_2. 120). Viele Experimente sprechen für zahlreicheres Auftreten von Männchen bei verschiedenen Tieren (bei Raupen, bei Fröschen), wenn die Ernährung eine schlechtere ist; andererseits wirkt die Temperatur bestimmend bei Rädertieren (AW_2. 22). Aus unbefruchteten Bieneneiern entstehen Männchen, Drohnen, aus befruchteten aber Weibchen, Königinnen, oder Arbeiterinnen (OH_3. 120) (EH. 176 [176]). Einige Arbeiterinnen unter den Ameisen legen ausnahmsweise doch Eier, aus denen Männchen werden. Es ist absolut nicht erwiesen, dass die Königinnen gewisser Ameisenarten, die von den Männchen begattet werden, keine Männchen, nur Weibchen hervorbringen (AW_1. 44).

Die gleichen Weibchen von Wasserflöhen (Cladocera) bringen zu gewissen Zeiten in ihrem Eierstock nur Eier hervor,

welche sich ohne Befruchtung, parthenogenetisch, entwickeln, kleine Sommereier, welche im Mutterkörper ausgebrütet werden, oder zu anderer Zeit Eier, welche der Befruchtung bedürfen, grosse Wintereier, Dauereier (CC. 376); auch hier sind äussere Einflüsse, Nahrungsüberfluss, Nahrungsmangel massgebend (OH_1. 237). Andere äussere Bedingungen bewirken oder beeinflussen gleichfalls Parthenogenese oder geschlechtliche Fortpflanzung: Kälte, Austrocknen usf. Weismann unterscheidet, je nach der Zahl der in einem Jahre erfolgenden Wechsel, polycyklische, monocyklische und acyklische Arten (OH_1. 238). Man nimmt an, um die parthenogenetische Entwicklungsfähigkeit zu erklären, der Eikern des Sommereies besitze die ganze Nukleinmasse eines Normalkerns schon ohne Befruchtung, weil sich nur ein Richtungskörperchen bei der Eireife von ihm abgeschnürt hat (OH_1. 238). Bei der Parthenogenese kann man Selbstbefruchtung annehmen, wobei aber der Keim nachher eventuell abstirbt (OH_1. 239). Doch können Eier, die zwei Richtungskörperchen abschnürten, bei gewissen Tieren (Liparis dispar, Bienen) dennoch sich parthenogenetisch zu normalen Wesen entwickeln (OH_1. 240).

Eizellen von höher entwickelten Tieren, zb. von Säugetieren, ausserhalb des Körpers am Leben zu erhalten, um sie willkürlich mit Sperma zu befruchten, ist bis dahin nicht möglich gewesen (MV. 203). Es ist indessen kaum denkbar, dass es nicht wenigstens bei den niedersten Säugetieren gelingen sollte, unter möglichster Beibehaltung gleicher Temperatur, Feuchtigkeit, chemischer Beschaffenheit der Umgebung, unter Abschluss äusserer Luft usf. so, wie es im bt. Körperinneren der Fall ist, eine willkürliche Befruchtung ausserhalb des Körpers einzuleiten und hernach das befruchtete Ei dem weiblichen Uterus zu weiterer Entwicklung zu übergeben. Eier und Spermatozoen sind ja Fortpflanzungszellen, die Dauerzustände angenommen haben. Sie mögen sehr empfindlich und vergänglicher Natur sein. Indessen müssen sie, ihrem Bau entsprechend, gewisse äussere ungünstige Einflüsse noch zu überdauern vermögen, ganz besonders, wenn man diese Einflüsse nur kurze Zeit einwirken lässt. Sorgt man also dafür, dass der ganze Vorgang unter den passenden Vorsichtsmassregeln und entsprechend schnell sich abwickelt, so muss man dazu gelangen

können, ausserhalb des Säugetierkörpers die Befruchtung willkürlich vorzunehmen. Zuerst wird man bei niederer, dann bei höher entwickelten Tieren zu günstigen Resultaten kommen. Die Entstehung ganz neuer Arten durch Bastardierung könnte wohl auf diesem Wege eingeleitet werden.

Zum Gelingen der Befruchtung ist es notwendig, dass die beiden elterlichen Individuen nicht zu nahe verwandt seien, und dass sie auch nicht zu sehr verschiedenen Arten angehören. Während die Schwärmer von zwei verschiedenen Dauersporen zur Kopulation gelangen, weichen dagegen die aus einer und derselben Dauerspore stammenden Schwärmer einander aus (OH_1. 246). Aus dem entsprechenden Grunde erfolgt bei Zwittern unter Umständen die männliche Reife erst nach der weiblichen (CC. 622). Oft besteht keine geschlechtliche Affinität zwischen den nahe verwandten befruchtungsbedürftigen Pflanzen (OH_1. 245). Bei Infusorien und auch bei phanerogamen Pflanzen ist Selbstbefruchtung wirkungslos oder sie führt doch nicht zur Bildung lebensfähiger Individuen (OH_1. 246). Andererseits giebt es Fälle von Inzucht, sogar viele Generationen hindurch (OH_1. 247). Aehnlich verhält es sich an der anderen Grenze der Befruchtungsfähigkeit, bei der Bastardierung. Sind die zur Befruchtung benutzten Arten zu sehr verschieden, so treten ähnliche Erscheinungen auf wie bei der Selbstbefruchtung: das entstandene Wesen verkümmert, entwickelt sich nur bis zum Gastrulastadium (OH_1. 250). Die Bastardbefruchtung ist oft zwischen nahe verwandten Arten unmöglich, oft zwischen sehr voneinander abweichenden Arten möglich (OH_1. 248). Wenn der Same einer gewissen Art A sich zur Befruchtung der Eier einer anderen Art B eignet, so ist das umgekehrte nicht immer der Fall: der Same von B kann nicht immer auch die Eier von A befruchten (OH_1. 249). Bastarde aus nahe verwandten Arten zeigen meist ein üppiges Wachstum (OH_1. 250). Nach dem Ausscheiden aus dem Eierstock sind die Eier zu verschiedenen Zeiten ganz verschieden zur Bastardierung aufgelegt (OH_1. 251).

Die ungeschlechtliche Vererbung ist bezüglich der Uebertragung der individuellen Eigenschaften wirksamer als die geschlechtliche (EH. 182 [182]). Der Kern scheint Hertwig und anderen das eigentliche Befruchtungs- und Vererbungsorgan der Zelle zu sein (OH. 51). Der Spermakern sei allein der

Uebertrager väterlicher Eigenschaften auf die Nachkommen; eventuell wirke das Centrosoma noch mit (BD. 49 [44]). Das Hauptstück des Spermatozoons aus Chromatinsubstanz spiele bei der Befruchtung die Hauptrolle (BD. 247 [241]). Es bestehen eben die Spermatozoen fast nur aus Kernsubstanz (SN. 285 [285]). Indessen ist gar nicht abzusehen, weshalb das Protoplasma, das den Spermatozoen mitgegeben wird, an der Vererbung keinerlei Anteil nehmen sollte. In der That nimmt de Vries eine gewisse Erblichkeit auch ausserhalb der Zellkerne an (OH_1. 287). Der Kern kann nicht alleiniger Träger der Erbmasse sein (MV. 512). Früher waren viele Forscher der Ansicht, nur das Protoplasma sei Träger der Erbmasse, und in jüngster Zeit glaubt man vielfach, nur die Kernsubstanz enthalte alle Erbmasse, wohl hauptsächlich, weil die Spermatozoen so wenig Protoplasma besitzen. Ist aber diese Annahme etwa eine Vereinfachung? Muss nicht dafür der Aufbau des Protoplasmas bz. der Kernsubstanzen ein um so komplizierterer sein? Seien wir doch zufrieden, etwas mehr Substanz mit differenzierten Eigenschaften für die Erbmasse in Anspruch nehmen zu können. Der Bau dieser Substanzen wird immer noch kompliziert genug gedacht werden müssen. Es ist überdies gar nicht wahrscheinlich, dass die Vererbungsfähigkeit nur an einige von den Substanzen der Eimasse und des Spermatozoons gebunden sein sollte.

Die Mischbarkeit der erblichen Anlagen ist wahrscheinlich (OH_1. 283). Die Anlagen, die beiderlei Geschlechtszellen von ihren Eltern erhalten haben, befähigen den Keim, zu einem die individuellen Eigenschaften beider Eltern zum Teil reproduzierenden gleichartigen Wesen sich zu gestalten (OH_1. 267). Das Kind empfängt aber nicht genau gleich viel Erbmasse von beiden Eltern; nur für die Mittelwerte mag dies stimmen (OH_1. 276). Die Vererbung eines Charakters erfolgt in verstärktem Grade, wenn beide Eltern denselben Charakter in auffallendem Masse besitzen (LD. 398). Besonders leicht vererben sich angeborene Bildungsanomalien, wie zb. bei Katzen und Hunden die zu kurzen Schwänze mit fehlenden, mit quergestellten oder sogar mit rückläufigen Wirbeln (AW_5. 14, 15).

Vererbung und Anpassung in ihrer Wechselwirkung bestimmen die Entwicklung (EH. 25 [25]). Um das Lamarck-

sche Prinzip der Vererbung erworbener Eigenschaften ist besonders in neuerer Zeit ein grosser Streit entbrannt zwischen Herbert Spencer, August Weismann und anderen Philosophen und Biologen. Ersterer sowie E. Haeckel und andere behaupten, eine grosse Zahl von Beispielen, von täglichen Erfahrungen sprechen doch deutlich genug für die Notwendigkeit der Vererbung erworbener Eigenschaften (EH. 192), während Weismann eine solche Vererbung nicht anerkennen will und alle scheinbaren Vererbungen erworbener Eigenschaften auf die Variationen der „Keimplasmata" zurückzuführen sucht, unter alleiniger Benutzung von Darwins Selektionsprinzip (AW., $AW_{1, 2, 3, 4, 5}$ usf.). Die Vererbbarkeit erworbener Eigenschaften ist nach Weismann einfach unbegreiflich (AW. 19). Es ist die Möglichkeit des „Mechanismus" nicht einzusehen, der die Vererbung erworbener Eigenschaften vermitteln sollte (AW_3. 61). Ich glaube, in meinen Entwicklungen die Möglichkeit der Existenz eines solchen Mechanismus genügend nachgewiesen zu haben, und zwar nicht nur an bestimmten pflanzlichen oder tierischen Individuen, sondern auch an Ameisen- und ähnlichen Tierstaaten, an Arthropoden mit ihren Chitinpanzern, weil diese beiden Fälle von Weismann ganz besonders in den Vordergrund gestellt worden sind, als Beweise dafür, dass sich die kompliziertesten Eigenschaften hochentwickelter Tiere vollständig ohne Vererbung erworbener Eigenschaften erklären lassen müssen. Zwar will ich Weismann darin beipflichten, dass sich gewiss die verwickeltsten, ausgeprägtesten Eigenschaften nur allein vermöge des Selektionsprinzips Darwins im Kampf ums Dasein allmählich hätten herausdifferenzieren können; allein ich glaube nicht, dass sich die Organismen ohne Lamarcks Prinzip der Vererbung erworbener Eigenschaften so rasch neuen Lebensbedingungen angepasst hätten, und insbesondere, dass sie sich auch jetzt immer noch so rasch anderen Lebensbedingungen anpassen könnten, wie dies wirklich der Fall ist. Ohne die Gültigkeit von Lamarcks Prinzip würden daher die Organismen nicht so vollkommene Anpassungsfähigkeit besitzen, ihre Differenzierung würde nicht in verhältnismässig kurzer Zeit eine so weitgehende sein. Es sind ja auch so zahlreiche Erscheinungen im menschlichen Leben und überhaupt in der ganzen Biologie bekannt, die zu Gunsten des Lamarck'schen Prinzips

sprechen, dass nun vielleicht die Gültigkeit des letzteren nicht mehr ernstlich angefochten werden wird, nachdem der Weg gezeigt ist, auf welchem eine solche Vererbung erworbener Eigenschaften wirklich zu stande kommen kann, nachdem der vermittelnde Mechanismus klargelegt ist.

Manche Forscher glauben, dass Verstümmelungen erworbene Eigenschaften mit sich bringen, welche merklich vererbt werden könnten (vgl. EH. 194; AW. 21; AW_5. 10). Weismann hat aber, um den Gegenbeweis der Nichtvererbbarkeit zu leisten, Mäuseversuche durchgeführt, bei denen er durch fünf Generationen hindurch allen seinen Mäusen die Schwänze gleich nach der Geburt amputierte. Von 849 Nachkommen hatte keiner irgend eine Verkürzung oder Missbildung am Schwanze (AW_5. 25). Nach unserer Theorie würde die Verstümmelung durch Abschneiden eines Gliedes, zb. einer Extremität, dann sich merklich vererben, wenn im bt. Tiere während der gesamten Entwicklung seiner Fortpflanzungszellen die Verstümmelung schon vorhanden wäre. Dies trifft aber im vorliegenden Fall nicht zu. Denn die Fortpflanzungszellen im Inneren solcher Tiere sind schon vorgebildet vor ihrer Geburt, also vor dem Augenblick, in dem die Schwänze abgeschnitten wurden. Möglicherweise ist aber auch der Schwanz der Mäuse durch engere nervöse Verbindungen mit anderen Organen derselben zu einem eigenen „Charakter", zb. mit den Sexualorganen zu einem Sexualcharakter verkettet. Denn es ist doch gewiss auffällig, dass bei den genannten Mäuseversuchen zuerst die Vermehrung der Mäuse eine sehr grosse war, dass aber die sechste Generation keine Nachkommen mehr erhielt (AW_5. 22).

Vielfach werden auch die rudimentären Organe in den Streit um das Prinzip der Vererbung erworbener Eigenschaften hereingezogen. Indessen wissen wir doch nicht, was für Funktionen aller Art den rudimentären Organen während der ganzen Dauer des tierischen Lebens obliegen, vom ersten Entstehen dieser Organe an bis zum Tode. Hätten diese Organe keinerlei Bedeutung mehr für den bt. tierischen Körper, so würden sie, wie es scheint, viel schneller verschwinden. Es wird also das Schwänzchen des menschlichen Embryo, es werden die „rudimentären" Muskeln der Ohrmuschel noch bestimmte Funktionen im menschlichen Leben verrichten, vielleicht ganz andere, als

sie sonst derartigen Organen zukommen. Gleicherweise müssen wir annehmen, die Hypophyse und die Zirbel des menschlichen Gehirns haben noch bestimmte Funktionen, es handle sich bei diesen beiden Gehirnanhängen nicht um ganz unnötig gewordene rudimentäre Organe. Ganz ähnlich verhält es sich auch mit anderen rudimentären Organen im Tierreich. Wir haben zb. noch keine Funktionen der Augen von gewissen Höhlenbewohnern beobachten können, sind aber deswegen nicht berechtigt, zu behaupten, diese Organe hätten keinerlei Funktionen mehr zu verrichten. Wissen wir doch, dass so verschiedenartige Funktionen wie Kontraktionen und Erteilung elektrischer Schläge von einem und demselben Organ, von einem quergestreiften Muskel, der sich später in ein elektrisches Organ verwandelt, verrichtet werden können. Wie viele ähnliche Funktionsänderungen mögen in der Biologie noch anzutreffen sein, von denen wir bis dahin keine Ahnung haben!

In seiner Schöpfungsgeschichte hebt Haeckel hervor, dass Sohn und Mutter, Tochter und Vater sich gleichen, besonders im Charakter (EH. 189 [189]). Andererseits gilt auch das Gesetz der unterbrochenen Vererbung: es gleichen sich Grosseltern und Enkel (EH. 185 [185]). Die Behauptung, dass Nachkommen eines Weibchens nicht nur dem gegenwärtigen Männchen, welches dieselben miterzeugt hat, sondern in merklicher Weise auch dem früheren Männchen desselben gleichen können, scheint nicht genügend bewiesen zu sein (AW_1. 82) (OH_2. 138). Immerhin sucht Weismann diese Erscheinung der „Telegonie“ durch die Annahme zu erklären, dass zuweilen Spermatozoen bis ins Ovarium gelangen und dass sie dann in noch unreife Eier eindringen (AW_1. 88). Ich möchte mich lieber so ausdrücken, dass alle nicht zu ihrer Bestimmung gelangten Spermatozoen im Eileiter (vielleicht auch teilweise von unreifen Eiern im Ovarium) resorbiert werden. Ohne Auflösung in kleinste Atomgruppen werden sie als Molekeln, als fertig gebildete Substanzen aufgenommen, weil sie vermöge des bestehenden Gegenseitigkeitsverhältnisses unter allen Substanzen der Individuen gleicher Art miteinander im Gleichgewicht stehen. An die Substanzen sind aber bestimmte Eigenschaften gebunden, und mit solchen Substanzen dringen daher Eigenschaften in die weibliche Fortpflanzungszelle ein. In verstärktem Masse geschieht dies bei dem Spermato-

zoon, das die Befruchtung bewirkt, weniger stark bei den nicht befruchtenden, nur durch Resorption während des Befruchtungsvorganges in das Ei aufgenommenen Spermatozoen. Noch weniger stark endlich geschieht es bei den Spermatozoen eines früheren Männchens, wenn dieselben im weiblichen Eileiter bereits resorbiert worden sind, so dass erst später einzelne Bestandteile derselben von dem den Eileiter passierenden Ei aufgenommen werden können.

5. Kapitel.

Keimesentwicklung und Stammesentwicklung.

Biogenetisches Grundgesetz und Cenogenese.

Die Wegleitung für die Beurteilung der Stammesentwicklung (Phylogenie) scheint in der Keimesentwicklung (Ontogenie) zu liegen. Um die Analogie für diese beiden Entwicklungsarten besser hervortreten zu lassen, hat F. Müller sein biogenetisches Grundgesetz aufgestellt, das sodann besonders von E. Haeckel in ausgiebiger Weise zur Festsetzung eines menschlichen Stammbaums verwertet worden ist. In kurzen Worten sagt dieses Gesetz aus, dass Pflanzen und Tiere in ihrer Ontogenie ihre Phylogenie wiederholen. Manche frühere Forscher mögen an dieses Gesetz unbedingt geglaubt haben, solange man noch nicht im stande war, die Keimesentwicklung in ihren Einzelheiten genauer zu verfolgen. Je mehr dies aber gelang, um so mehr erkannte man, dass die ontogenetischen Zustände zum mindesten nicht eine genaue Wiedergabe der phylogenetischen Zustände sein können. Man beobachtete in den sich entwickelnden Keimen eine grosse Zahl von Zwischenzuständen, die offenbar niemals wirklich lebensfähigen Individuen entsprochen haben. Weil andererseits unter allen lebenden Arten stets nur verhältnismässig wenige sich finden, die in den Stammbaum der untersuchten Art sich einordnen lassen, mit einiger Wahrscheinlichkeit dafür, dass damit ungefähr die richtigen Zwischenglieder gefunden seien, so hat man geglaubt, in der Keimesentwicklung eine abgekürzte vereinfachte Wiederholung der Stammesentwicklung annehmen zu müssen. Nach dieser Annahme sollen zahlreiche Zwischenglieder, die zur Stammesentwicklung gehören,

bei der Keimesentwicklung einfach übersprungen werden, so dass jene Glieder in dieser Entwicklung nicht mehr erkennbar sind. E. Haeckel stellte daher das Gesetz der Cenogenese auf, welches aussagt 1. dass eine abgekürzte vereinfachte Vererbung zu stande komme, eine Verwischung der in der Entwicklungsgeschichte erhaltenen geschichtlichen Urkunde, und 2. dass die Vererbung eine gefälschte, eine gestörte sei, gefälscht insbesondere durch den Kampf ums Dasein. Vergleicht man diese beiden Gesetze miteinander, das biogenetische Grundgesetz und das Gesetz der Cenogenese, so erkennt man, dass dieselben ungefähr Gegenteiliges aussagen. Operiert man mit beiden Gesetzen, so ist man im stande, durch passende Bevorzugung des einen oder des anderen derselben alles zu beweisen, was man haben will. Die Gefahr ist gross, dass man mit diesen Gesetzen Unrichtiges beweise, dass man Falsches für Wahres halte.

Allerdings hat das Ergebnis des biogenetischen Grundgesetzes etwas Bestehendes. Denn die ersten Keimungsstadien der meisten vielzelligen Lebewesen haben grosse Aehnlichkeiten untereinander. Bei vielen Embryonen entstehen in ganz ähnlicher Weise aus einer Eizelle zwei, drei, vier, sechs, acht Furchungskugeln usf.; es entsteht die maulbeerartige Morula, die bläschenartige Blastula, die Gastrula. Solche Morulen, Blastulen, Gastrulen kommen nun thatsächlich als selbständige Wesen in der Natur vor, und darin glaubte man einen deutlichen Fingerzeig dafür zu haben, dass wirklich die auf ontogenetischem Wege entstehenden Formen einmal als selbständige Lebewesen existiert haben müssten. Man nehme jedoch eine solche Keimes-Morula oder -Blastula oder -Gastrula einer hochdifferenzierten Art aus ihrer Hülle heraus und bringe sie unter die Lebensbedingungen einer als Art bestehenden Morula, Blastula, Gastrula. Sie wird niemals als solche Art am Leben bleiben, ausser wenn sie ganz bedeutende innere Rückbildungen erfährt, nach denen eine fortgesetzte Keimesentwicklung derselben als Embryo jener hochdifferenzierten Art überhaupt nicht mehr möglich ist. Denn ihr innerer Aufbau ist ein total anderer, ein derjenigen Art, welche aus ihr entstehen soll, genau angepasster. Ebensowenig entsprechen alle anderen Keimeszustände lebensfähigen Arten, oder solchen Arten, welche in früheren Zeiten unter anderen Verhältnissen lebensfähig sein konnten.

Wenn wir eine Beziehung suchen wollen zwischen der Keimesentwicklung und der Stammesentwicklung, so müssen wir vielmehr in folgender Weise vorgehen: Jede Art hat eine stetige Reihe von Ahnen; in ihrem Stammbaum gleicht jeder Nachkomme seinen unmittelbaren Vorfahren so sehr, dass wir mit unseren Beobachtungsmitteln im allgemeinen die Unterschiede kaum oder nur eben noch festzustellen vermögen. Solche Unterschiede sind aber vorhanden und sie sind derart, dass wir in der That zu den denkbar einfachsten Lebewesen gelangen, wenn wir von der betrachteten Art aus zu älteren und älteren Generationen zurückgehen.

Wie wir in solcher Weise die fertig ausgebildeten Arten miteinander vergleichen, so vergleichen wir sie nun in ihrem Entwicklungszustande, wenn sie etwa $^9/_{10}$ ihres embryonalen Daseins vollendet haben. Auch in diesen Stadien haben wir die Aehnlichkeit der Nachkommen mit ihren unmittelbaren Vorfahren durch die ganze phylogenetische Reihe hindurch. Ebenso ergiebt sich die Aehnlichkeit für die früheren Stadien von $^8/_{10}$, $^7/_{10}$ . . . . . $^1/_{10}$ ihres embryonalen Daseins. Demnach dürfen wir nur sagen, das jeweilige Entwicklungsstadium des Keimes einer Art sei dem den Zeitverhältnissen nach korrespondierenden Entwicklungsstadium des Keimes einer anderen Art ähnlich, nicht dieser letzteren Art selber. Im ersten Entwicklungsstadium ist in der Regel diese Aehnlichkeit die grösste, weil die Fortpflanzungszellen selber als einfache Zellen aufzufassen sind und weil wir mit unseren Beobachtungsmitteln Unterschiede um so weniger nachweisen können, je kleiner die zu beobachtenden Objekte sind.

Differenzierung der Fortpflanzungszellen.

Die Fortpflanzungszellen entstehen an einer Stelle des elterlichen Individuums, an welcher sie keine spezifische für das Leben des Individuums selber unentbehrliche Funktion zu übernehmen haben. Es müssen sich somit diese Zellen nicht in gleicher Weise, wie alle übrigen Zellen des Staates differenzieren. Weder Stützsubstanz, noch verdauende, noch irgend eine andere Substanz scheidet sich in denselben fast ausschliesslich ab, wie in anderen Zellen. Die Kern- und die Protoplasma-

substanzen werden so weit gleichmässig ausgebildet, dass aus der Fortpflanzungszelle durch weitere Differenzierung immer noch die eine oder die andere speziellere Zellenart hervorgehen könnte, wenn sie die Aufgabe hätte, Stützzelle, transportierende Zelle, verdauende oder irgend eine andere differenzierte Zelle des Staates zu werden. Den weiblichen Fortpflanzungszellen, den Eizellen wird ferner noch undifferenziertes Nahrungsmaterial, der Dotter, mit auf den Lebensweg gegeben, also Reservestoffe, aus denen unter passenden äusseren und inneren Wachstumsbedingungen alle Zellsubstanzen assimiliert werden können. Wir haben (S. 154) gesehen, dass zwischen den Substanzen der weiblichen Fortpflanzungszelle und denen des Dottermaterials ein gewisses Gleichgewicht zu stande kommt, welches das Ei befähigt, eine Zeit lang sich gleich zu bleiben, weder sich zu entwickeln noch sich merklich zu zersetzen. In diesem Zustande giebt aber das Ei Witterung ab, welche die männliche Fortpflanzungszelle, das Spermatozoon anzieht und welche zugleich die Eizelle dem Spermatozoon entgegen treibt, so dass beide Zellen zur Befruchtung gelangen. Durch diese Befruchtung wird das Zellmaterial nicht nur vermehrt, sondern es wird dasselbe auch verändert, weil von einem anderen, vom männlichen Individuum noch Substanzen hinzugekommen sind. Dadurch wird der mögliche Gleichgewichtszustand zwischen den Fortpflanzungszellsubstanzen und dem Dottermaterial aufgehoben. Alles Dottermaterial müsste entsprechend umgeändert werden, um wieder im Gleichgewicht mit den durch neuen Zuwachs geänderten Zellsubstanzen zu stehen. Wegen der erfolgenden Umsetzungen geraten aber die Teile, die Molekeln der Zellsubstanzen der durch Befruchtung vereinigten Fortpflanzungszellen in so heftige Bewegungen, dass sie in verstärktem Masse assimilieren. Alles Dottermaterial, das für sie Nahrung ist, wandelt sich daher nach und nach in ihre eigene Substanz um. Damit beginnt das Wachstum der befruchteten Fortpflanzungszelle, dem die Teilung und die weitere Entwicklung des Keimes folgt.

Wenn der Zellenstaat, dem die Fortpflanzungszelle angehört, ein solcher ist, dass seine verschiedenen Zellen kaum eine Differenzierung aufweisen, dass insbesondere aus jeder Zelle durch Regeneration alle anderen Zellen wieder entstehen können, so liegen die Verhältnisse einfach. Es ist dann nur nötig, dass

sich irgend eine Zelle dieses Zellenstaates ablöse, damit sie zu einer Fortpflanzungszelle werde, einen neuen Zellenstaat entstehen lasse, wenn sie in passenden Nahrungs- und Lebensbedingungen sich befindet. Bei allen höher organisierten Lebewesen ist indessen die Differenzierung der Zellen so weit fortgeschritten, dass nicht mehr jede beliebige abgelöste Zelle eines solchen Zellenstaates im stande ist, den ganzen Zellenstaat durch Regeneration bz. durch entsprechendes Wachstum neu entstehen zu lassen, dass nicht jede dieser Zellen die Funktionen der Fortpflanzungszellen übernehmen kann. Je höher entwickelt ein Lebewesen ist, um so mehr haben sich auch seine Fortpflanzungszellen im Aufbau ihrer Substanzen differenziert. In solchen Fortpflanzungszellen werden allerdings nicht alle Substanzen des ausgebildeten Lebewesens vorgebildet enthalten sein, aber doch so viele, als nötig sind, damit beim weiteren Wachstum alle noch fehlenden Substanzen nacherzeugt werden.

Von grösster Wichtigkeit ist für die Entwicklung der Fortpflanzungszellen das Bestehen einer besonderen Korrelation ihrer Substanzen, also der Aufbau ihrer nervösen Substanzen, die diese Korrelation beherrschen. Je weiter ein Lebewesen zu einem hochentwickelten Zellenstaat sich umgestaltet, je weiter sich seine Zellen differenzieren, um so mehr muss auch die nervöse Substanz seiner Fortpflanzungszelle eine kompliziertere Bauart annehmen. Denn sie muss nicht nur einmal die Korrelation der verschiedenen Substanzen der Fortpflanzungszelle herstellen, sondern immer; sie muss das ganze weitere Wachstum der Fortpflanzungszelle, die Zellteilungen und die Zelldifferenzierungen einleiten, so dass das dem elterlichen analoge Lebewesen aus der Fortpflanzungszelle hervorgeht. Es muss also die nervöse Substanz von dem Zustande an, in dem sie sich in der Fortpflanzungszelle befindet, selber in ganz bestimmter Weise weiter wachsen. Sie muss in der Fortpflanzungszelle so aufgebaut sein, dass sie durch Nahrungszufuhr nur in einer ganz bestimmten Weise weiter wachsen kann.

Da die nervöse Substanz, unserer Voraussetzung gemäss, die Korrelation unter allen übrigen Zellsubstanzen herstellt, so müssen auch diese Substanzen, dem Wachstum der nervösen Substanz folgend, in ganz bestimmter Weise wachsen. Keine Epoche des Wachstums und der weiteren Entwicklung der Fort-

pflanzungszelle weist willkürliche Vorgänge auf. Schon jede beliebige einfache Zelle besitzt ja ein nervöses Zentralorgan, das wir vermutlich im Zentralkörperchen, im Polkörperchen gefunden haben. Dieses Zentralorgan hält die Korrelation unter allen Zellsubstanzen aufrecht. Es leitet gleichsam das weitere Wachstum, namentlich auch bei der Zellteilung, so dass stets aus einer Zelle wiederum zwei möglichst gleiche Zellen entstehen. Ganz analog verhält sich die nervöse Substanz in der Fortpflanzungszelle eines Zellenstaates. Während aber die nervöse Substanz eines Keimes weiter und weiter wächst, kommen in eben diesen Keimen der höher organisierten Lebewesen Zellteilungen zu Hunderten, zu Tausenden, zu Millionen vor, bis das fertige Individuum gebildet ist. Der Aufbau der nervösen Substanz in der Fortpflanzungszelle muss also für höhere Lebewesen in der That ein entsprechend komplizierter sein, wenn dieselbe allen Entwicklungsaufgaben in bestimmter vorgeschriebener Weise gerecht werden soll.

Dementsprechend mussten sich die Fortpflanzungszellen nach dieser Richtung hin gleichfalls differenzieren, wenn die Lebewesen selber sich weiter und weiter differenzierten. Nur so weit, als die im Kampf ums Dasein den geänderten Lebensbedingungen sich anpassenden Lebewesen auch ihre Fortpflanzungszellen im Sinne einer entsprechenden Aenderung ihrer Nachkommen umzugestalten vermochten, entstanden aus ihnen neue Arten, beispielsweise höher entwickelte Individuen. Die Entstehung sehr komplizierter Fortpflanzungszellen der noch weit komplizierteren höchstentwickelten Lebewesen erfolgte nicht plötzlich, sondern allmählich, durch Millionen, durch Billionen Zwischenstufen hindurch. Jede Art, die keine guten, keine für ihre Erhaltung, für ihre Weiterentwicklung zweckmässigen Fortpflanzungszellen erzeugte, starb aus und stirbt auch heute noch aus.

Eifurchung und Differenzierung der Furchungszellen.

Die befruchtete Fortpflanzungszelle, die sich in passender Nahrungsflüssigkeit unter passenden Lebensbedingungen befindet, wächst, sie teilt sich, ganz analog wie alle anderen Zellen. Es entstehen zwei Zellen, die voneinander verschieden sind. Zwar scheinen in vielen Fällen bei der Eifurchung zuerst gleiche

Zellen zu entstehen; indessen muss es, namentlich für biologische Forschungen, ein stets gültiger Grundsatz bleiben, dass schon lange, bevor wir Unterschiede in der Differenzierung sehen oder messen können, solche da sind. In Wahrheit ist es gar nicht denkbar, dass in der Natur irgend ein Substanzenaggregat in zwei mathematisch (also auch physikalisch und chemisch) genau gleiche Teile sich spalte. Die beiden durch Teilung aus der Eizelle entstandenen Furchungszellen, wie man sie nennt, sind also ungleich. Zwischen ihnen beginnt sogleich ein Kampf um die Herrschaft, in welchem die eine, die stärkere, unbedingt Siegerin bleibt. Denn jede von ihnen hat ihre nervöse Substanz, welche die weitere Entwicklung des Keimes zu leiten, welche sich selber auch durch Nahrungsaufnahme zu vergrössern sucht. Je nach der Lage, nach den äusseren und inneren Bedingungen ist nun die nervöse Substanz der einen von beiden Zellen besser im stande, die passende Nahrung an sich zu ziehen, zu wachsen, sich zu vergrössern, als diejenige der anderen. Jene Zelle übernimmt daher wegen ihrer entwickelteren nervösen Substanz auch eine teilweise Leitung des Wachstums der anderen Zelle. Die letztere aber hat, weil ihr die Nahrung für die Bildung nervöser Substanz verhältnismässig weniger reichlich zugeflossen ist, dafür andere Nahrung reichlicher aufgenommen, als die erstere. Sie differenziert sich demnach in anderer Weise.

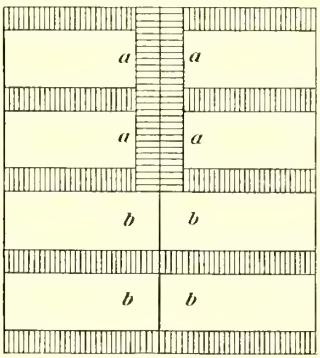


Fig. 48.

Bei der Zellteilung entsteht, wenn nach derselben die beiden Zellen aneinandergelagert bleiben, wie es bei Zellenstaaten immer der Fall ist, eine einfache oder doppelte Scheidewand, eine Membran zwischen beiden Zellen. Diese Membran ist aus Fistellen aufgebaut, im allgemeinen aus einer Fistellenmembran a und einer Röhrchenschicht b (Fig. 3, S. 4), so dass an einzelnen Stellen aa (Fig. 48) die Fistellen gewissermassen Verbindungskanäle für die Zellsäfte beider Zellen herstellen, während an anderen Stellen bb die Röhrchenschichten selber einander berühren und ganzen Fibrillen den Uebertritt

aus einer Zelle in die andere gestatten mögen. Durch solche Röhrchen hindurch werden zb. nervöse Fibrillen von Zelle zu Zelle reichen. Wenn nun bei dem Kampf der beiden ersten Furchungszellen um die Herrschaft die eine Zelle siegt, so wird dies vermutlich so zu verstehen sein, dass nunmehr die stärkere unter ihnen durch die Fistellenmembran a a hindurch der schwächeren diejenigen Zellsäfte zum grossen Teil entzieht, aus denen namentlich nervöse Substanzen assimiliert werden. Durch die Fistellenmembran a a gehen also von der in nervöser Beziehung schwächeren zu der stärkeren Zelle Zellsäfte hindurch, die der letzteren als Nahrungssäfte dienen, während dafür die stärkere Zelle vermöge der durch die Röhrchenschicht b b hindurchreichenden nervösen Fibrillen Reize auf die schwächere Zelle auszuüben vermag. Unter solchen Umständen erhalten wir die erste Differenzierung des Zellenpaares in eine nervöse und eine verdauende Zelle.

In analoger Weise schreitet die weitere Differenzierung fort. Aus jener verdauenden Zelle entstehen durch Teilung zwei verdauende Zellen, aus der nervösen Zelle zwei nervöse Zellen. Aber jedes von diesen Paaren besteht aus zwei ungleichen Zellen. Eine von den beiden nervösen Zellen übernimmt die Zentralleitung, sie sorgt für die ordnungsmässige Weiterentwicklung der Zellengruppe, entzieht aber dafür ihren Nachbarzellen Zellsäfte, so dass letztere für sie zu verdauenden Zellen werden. Die andere nervöse Zelle kann daher, je nach den Anlagen in der ursprünglichen Fortpflanzungszelle, zu einer vorzugsweise verdauenden Zelle sich umgestalten, oder sie kann nervöse Zelle bleiben, die indessen nicht die Zentralleitung, sondern nur untergeordnetere nervöse Funktionen zu übernehmen hat. Weil auch die beiden aus der ersten verdauenden Zelle durch Teilung hervorgegangenen Zellen ungleich sind, werden sie sich wiederum differenzieren. Entweder kann die eine von beiden die nervöse Leitung der anderen übernehmen, eine untergeordnete, von der Zentralleitung abhängige Leitung, oder beide Zellen können fortan im wesentlichen die Funktionen von verdauenden Zellen verrichten. Es wird dies aber so geschehen, dass die eine von ihnen besser den einen Bestandteil der Nahrung, die andere besser den anderen Bestandteil derselben in sich aufnimmt und sowohl für ihre eigenen als auch für die Substanzen anderer Zellen

verdaulich macht. Auch andere Zellenarten können bei dieser und bei den folgenden Differenzierungen entstehen, Stützzellen, transportierende, sezernierende, kontraktile Zellen usf.

Morula, Blastula, Gastrula.

Die Eifurchung schreitet nun weiter und weiter fort, immer neue Furchungszellen entstehen. Der Masse und der Verteilung des der Eizelle mitgegebenen Nahrungsvorrats, des Eidotters, entsprechend greift die Furchung um sich. Es entstehen Furchungszellen, welche in ihrer Gesamtzahl den ganzen Eiraum einnehmen, oder solche, welche sich mehr flächenförmig ausbreiten, über die ganze innere Oberfläche der Eihülle oder über einen Teil derselben hin. Es entstehen demzufolge die maulbeerartigen Morulaformen, die bläschenartigen Blastula- oder die Gastrulaformen, oder die Keime entwickeln sich mehr scheibenförmig, bei Eiern, die mit überaus grossen Dottervorräten ausgestattet sind, wie zb. bei Vogeleiern. Alle diese Formen haben bereits durchweg differenzierte Zellen, auch dann, wenn für uns die Unterschiede noch nicht wahrnehmbar sind. Eine gewisse Anzahl der Zellen übernimmt die nervöse Leitung. Unter ihnen ist eine einzige die stärkste in Beziehung auf die Wirksamkeit ihrer nervösen Substanz. Diese hat die oberste Zentralleitung übernommen. Alle anderen Zellen haben sich gleichfalls differenziert. Sind Zellen da, die vermöge ihrer Lage andere Zellen von der Nahrung abschneiden würden, so müssen sie zu transportierenden Zellen werden. Analog entstehen durch Differenzierung die übrigen Zellenarten.

Nervöse Zentralleitung.

Indessen sind nicht etwa die uns unmittelbar erkennbaren äusseren mechanischen Verhältnisse, die auf das Innere des Eies einwirken, die allein massgebenden für die Fortentwicklung des Keimes, des Embryos; vielmehr übt die nervöse Substanz, welche von der Fortpflanzungszelle aus gleichfalls weiter und weiter sich entwickelt hat, welche selber gewachsen ist, den wichtigsten Einfluss aus. Sie leitet und regiert, vermöge ihrer ererbten Anlagen, im wesentlichen die ganze Zellgestaltung. Selbstver-

ständlich sind mechanische Hindernisse auf die Entwicklung des Keimes um so weniger ohne bleibenden Einfluss, je weiter die Entwicklung bereits vorgeschritten ist. Es kommen in Betracht der Nahrungsvorrat, die örtliche Verteilung der Nahrung, der Zutritt von Luft, von Sauerstoff, die Wärme, das Licht, auch die Schwerkraft, die abgeschiedenen Sekrete und Exkrete usf. Es ändern sich die Entwicklungsbedingungen für den Embryo fortwährend, die Konzentration der Nahrungsflüssigkeit, diejenige der Sekrete, die Dicke der Membranen, die Ausdehnung des nervösen Zentralorgans, kurz alles zusammen ändert sich fortwährend. Aber die wichtigsten Phasen der Entwicklung leitet und beherrscht stets die nervöse Substanz. Ohne die letztere, nur unter dem Einfluss äusserer Bedingungen, wie manche Forscher glauben mögen, würden benachbarte Zellen sich in der Regel nahezu gleich entwickeln, und die oft ungemein starke Verschiedenheit unmittelbar benachbarter Zellen wäre unverständlich.

Daher muss in der That die Fortpflanzungszelle eine gewisse Präformation in sich enthalten. Nicht als ob in derselben schon alle Teile des fertig ausgebildeten Individuums im kleinen genau vorgebildet wären. Aber es muss doch die nervöse Substanz der Fortpflanzungszelle einen derart komplizierten Bau angenommen haben, dass sie sich in derjenigen ganz bestimmten Art und Weise weiter entwickelt, welche vermöge der unter allen übrigen Substanzen aufrecht erhaltenen Korrelation zur Entstehung des Lebewesens der bt. Art führt. Nicht einmal alle Substanzen des fertigen Organismus müssen in der Fortpflanzungszelle selber vorkommen, wie wir früher schon klar erkannt haben (vgl. S. 3); denn auch eine gewisse Epigenesis ist sicher möglich.

Regeneration im Embryonalstadium.

Eine nervöse Zelle übernimmt die Zentralleitung für das weitere Wachstum des ganzen Zellenstaates. Sind erst zwei Furchungszellen entstanden, und wird die eine anfänglich kräftigere von ihnen durch irgend einen Einfluss genügend geschwächt oder ganz vernichtet, so übernimmt die andere nunmehr die Leitung der weiteren Entwicklung. Denn diese beiden

Zellen waren sich annähernd gleich. Bei der weiteren Zellteilung muss sodann jedenfalls eine Zelle in nervöser Beziehung wiederum die stärkste sein, so dass sie die Zentralleitung an sich zieht. Wird im Stadium der Vierteilung, der Achtteilung bei der Eifurchung eine solche Furchungszelle von den übrigen sorgfältig abgetrennt, aber mit genügendem Nahrungsvorrat ausgestattet, so teilt sie sich unter günstigen Umständen weiter, ganz analog, wie es oben für die ursprüngliche Fortpflanzungszelle beschrieben worden ist. Es kann ein wirklicher Embryo oder sogar ein völlig ausgebildetes Wesen aus jener Furchungszelle entstehen, wenigstens bei Zellenstaaten, die noch keine sehr weitgehende Differenzierung ihrer Zellen besitzen.

Zwillingsbildungen.

Wenn bei der Eifurchung der Zellteilungsvorgang besonders rasch vor sich geht, so kann der Fall eintreten, dass keine einzelne Zelle im stande ist, die Zentralleitung vollständig an sich zu ziehen. Sind nämlich vier Furchungszellen entstanden, so hat nun jede nervöse Zelle eine verdauende gewonnen, die sie leitet, und bei den folgenden Zellteilungen können daher zwei Zellen zu Zentralzellen werden, welche beide die in ihrem Bereiche befindlichen übrigen Zellen selbständig beherrschen und leiten. Es entstehen unter solchen Umständen Zwillinge. Ein derartiger Fall tritt besonders dann leicht ein, wenn die den Zellen dargebotene Nahrung sehr reichlich fliesst, so dass die einzelnen Zellen nur wenig miteinander um die Nahrung kämpfen müssen. Auch mögen äussere Einflüsse mitwirken, Einflüsse, die die beiden zuerst entstandenen nervösen Zellen auseinander rücken, so dass sie, örtlich voneinander getrennt, nicht mehr unmittelbar voneinander abhängen, sich vielmehr sehr selbständig entwickeln. Sind drei verschiedene Furchungszellen im stande, eine oberste Zentralleitung sich anzueignen, so entstehen Drillinge aus einer einzigen Fortpflanzungszelle usf. Ganz anders liegen natürlich die Verhältnisse, wenn 2, 3, 4 . . . befruchtete Fortpflanzungszellen fast oder völlig gleichzeitig und unabhängig voneinander im Mutterindividuum zur Entwicklung gelangen.

Aeussere Einflüsse auf die Keimesentwicklung.

Bei der durch eine Zentralzelle geleiteten Entwicklung des Keimes entsteht eine Morula, eine Blastula, eine Gastrula, wie es den gegebenen und zwar im allgemeinen mehr den äusseren Bedingungen, mechanischen Hindernissen und dergleichen, als den inneren Bedingungen entspricht. Wir haben früher (I S. 90) gezeigt, dass rein mechanisch schon bei der Aneinanderlagerung von Fistellen im Inneren eines geschlossenen zb. eiförmigen Hohlraumes das komplizierteste dieser Gebilde, die Gastrula entstehen kann und unter Umständen, wenn die Nahrungsbedingungen entsprechende sind, entstehen muss. Die derselben einigermassen ähnliche Gastrula, die bei der Keimesentwicklung vieler Lebewesen gefunden wird, beweist demnach noch nichts zu Gunsten der Annahme, unter den Ahnen der bt. Art habe sich eine wirkliche Gastrula befunden. Die Gastrulaform kommt vielmehr da und dort sozusagen zufällig zu stande, und wenn wir durch mechanisches Deformieren der Fortpflanzungszelle, der Eizelle das Zustandekommen der Gastrula unterdrücken würden, so könnte in manchen Fällen dennoch vermöge der unausgesetzt wirkenden nervösen Zentralleitung ein normaler Organismus aus dem Ei hervorgehen.

Es wird noch vielfach geglaubt, die ersten Furchungszellen seien einander durchaus gleich, bei vielen Organismen sogar noch bis zur n^{ten} Teilung, zb. bis zur Morulabildung. Dann erst beginne die Differenzierung. Ein solcher Naturvorgang wäre aber ganz undenkbar. Wenn im n^{ten} Teilungsstadium die Furchungszellen Ungleichheiten zeigen, so müssen sie auch schon im (n—1). Stadium nicht gleich gewesen sein, abgesehen von plötzlichen äusseren und rein willkürlichen Eingriffen. Denn sonst hätten sie sich nicht in ungleiche Teile geteilt. Aus dem gleichen Grunde waren die Zellen im (n—2). Teilungsstadium schon ungleich usf. Wenn also bei der n. Teilung Unterschiede hervortreten, so haben auch die beiden Zellen, die aus der 1. Teilung hervorgehen, Ungleichheiten in sich, obgleich wir dieselben nicht wahrzunehmen vermögen. Selbstverständlich sind im allgemeinen die Differenzierungen um so weniger ausgebildet, je geringer die Gesamtzahl der Zellen ist, die beim Furchungsvorgang aus der Eizelle bereits hervorgegangen sind. Wir

müssen uns eben immer wieder erinnern, dass die feinsten Unterschiede in der chemischen und insbesondere in der morphologischen Beschaffenheit sehr komplizierter Körper für uns durchaus nicht immer wahrnehmbar sind.

Dass die Zellen schon aus rein äusserlichen Gründen sich differenzieren müssen, geht beispielsweise aus der Betrachtung einer Gastrula bei der Keimesentwicklung hervor. Besteht diese Gastrula nur aus zwei Zellenschichten, einer äusseren und einer inneren Zellenlage, und befindet sich der ganze Dottervorrat im Inneren der Gastrula, so werden die Zellen der inneren Lage, weil sie der verfügbaren Nahrung, dem Dotter unmittelbar benachbart sind, die Verdauung des letzteren übernehmen. Sie werden also den Zellen der äusseren Lage brauchbare bereits zubereitete Zellsäfte zuführen. Die äusseren Zellen dagegen werden zum Teil die Sauerstoffatmung übernehmen, soweit von aussen Sauerstoff herbeigeleitet werden kann; sie werden aus der äusseren Umgebung neues Wasser aufzunehmen suchen; sie werden zu Sinneszellen und übertragen äussere Einflüsse, mechanische Wirkungen, Wärme-, Lichtwirkungen usf. auf die inneren, auf die verdauenden Zellen. Ausserdem differenzieren sich aber die inneren Zellen untereinander, indem die einen mehr diese, die anderen mehr jene Bestandteile der notwendigen Nahrungssäfte liefern. Es differenzieren sich die äusseren Zellen untereinander, indem die einen nur die Sauerstoffatmung, andere nur die Wasseraufnahme besorgen, wieder andere die mechanischen Wirkungen, andere die Wärmewirkungen übertragen.

Würden nur äussere Einflüsse das embryonale Wachstum regieren, so könnten wohl niemals die komplizierten Individuen entstehen, wie sie in Wirklichkeit aus der Keimesentwicklung hervorgehen, wie sie den hochentwickelten Pflanzen- und Tierarten entsprechen. Es muss vielmehr in der That eine leitende nervöse Zelle das Wachstum der übrigen Zellen beherrschen, wie wir es früher (S. 98) gezeigt haben. Diese Zelle wächst selber und sie teilt sich demzufolge, weil die notwendige Nahrung zu ihrer Verfügung steht. Ferner wachsen die übrigen Zellen und sie teilen sich, weil sie gleichfalls aus der vorhandenen Nahrung assimilieren und weil sie überdies von jener fortwährend wachsenden nervösen Zelle gezwungen werden, immer in Korrelation untereinander zu bleiben. Es entstehen neue

Zellenarten, in genau vorher bestimmter Weise, Zellen, die für das Bestehen der Korrelation unter allen Teilen des fertig entwickelten Individuums notwendig sind.

Embryonales Wachstum der nervösen Zellen.

Das Wachstum der reizleitenden tierischen Zellen, der Ganglienzellen, ist vielfach untersucht und beobachtet worden. Man wollte feststellen, ob dieselben von den Sinneszellen aus zentripetal, gegen das nervöse Zentralorgan hin, oder ob sie umgekehrt zentrifugal, vom Zentralorgan nach der Peripherie hin wachsen. Nach unseren Auseinandersetzungen giebt es ein solches Wachstum der reizleitenden Zellen gegen diejenigen Zellen hin, die sie miteinander in leitende Verbindung setzen sollen, überhaupt nicht. Vielmehr sind die reizleitenden Zellen stets, schon bei ihrem Entstehen, an diejenigen Zellen angeschlossen, die sie später bei der Funktionierung der Organe leitend zu verbinden haben. Rücken die letzteren Zellen infolge des embryonalen Wachstums weiter und weiter auseinander, so wachsen die reizleitenden Zellen in die Länge, sie strecken sich in entsprechendem Masse. Wir sehen eben nicht alle Verbindungen der Zellen untereinander. Hauptsächlich sehen wir nicht die feinsten Fibrillen, die von den reizleitenden Zellen ausgehend in andere Zellen hineinreichen, weil sie viel zu dünn sind, als dass sie durch die mit den stärksten Vergrösserungen ausgestatteten Mikroskope noch sichtbar gemacht werden könnten.

Allerdings kann es scheinen, als ob eine Ganglienzelle, etwa von nebenstehender Form (Fig. 49) von ihrem Hauptzellkörper aus zentrifugal wachse, wenn sie in ihrer Gesamtheit grösser und grösser wird. Denken wir uns nämlich ihre Dimensionen zuerst so klein, namentlich die Durchmesser ihrer Fasern so gering, dass wir nur den Hauptzellkörper K selber mit unserem verfügbaren optischen Apparate sehen, dass Dendrit D und Neurit N zu dünn sind, um etwa vermittelst unseres Mikroskops von umgebenden Teilen noch unterschieden werden zu können. Wächst nun die Zelle vom Hauptzellkörper aus, welcher das Polkörperchen enthält, welcher somit nach unseren früheren Entwicklungen das Wachstum leitet, welcher vielleicht auch die

wesentliche Nahrungszufuhr dieser Zelle erhält, so werden Dendrit und Neurit dicker und dicker, zuerst an ihren zentralen Ansatzstellen, dann an den peripheren Enden. Die ersteren Ansatzstellen gelangen also zuerst in den Bereich der Sichtbarkeit. Wir glauben Dendrit und Neurit zentrifugal wachsen zu sehen. In Wahrheit sehen wir aber nur die Fibrillen, die mindestens eine gewisse Dicke (etwa den 2000. Teil eines Millimeters) besitzen, die übrigen sehen wir nicht. Schreitet das Wachstum weiter und weiter, so können wir schliesslich, wenn

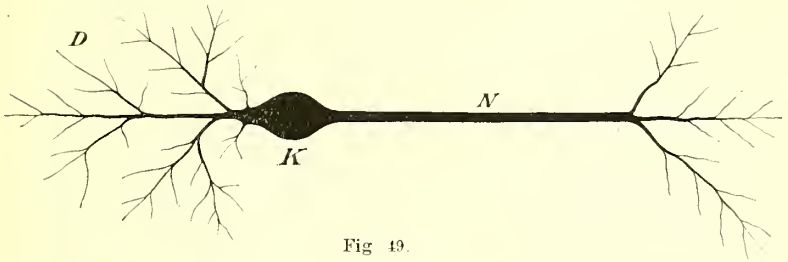


Fig 49.

die Endaufzweigungen, die Telodendrien dick genug werden, sogar diese sehen, und auch bei ihnen, welche in der Regel um so dünner sind, je weiter sie aufgesplittert sind, hat es den Anschein, als ob man ein zentrifugales Wachstum wahrnehmen könnte. Es ist dies aber Täuschung, wie man leicht mittels der obenstehenden Figur 49 erkennt. Bringt man nämlich diese Figur etwa in eine Vertikalebene und entfernt man sich sodann horizontal so weit von derselben, dass man nichts mehr von der Figur erkennt, geht man hierauf näher und näher an dieselbe heran, so sieht man zuerst den Hauptzellkörper, dann Dendrit- und Neuritstamm, dann ihre Hauptverzweigungen und zuletzt die Telodendrien mit ihren feinsten Spitzen, nach Massgabe der scheinbaren Dickenzunahme der bt. Fasern und Fibrillen. Dennoch ist die hier bildlich dargestellte Ganglienzelle nicht während der Annäherung des Beobachters zentrifugal gewachsen.

Wenn uns nach unserem vierten biologischen Fundamentalsatz das durch nervöse Zellen geleitete Wachstum des Embryo gleichsam ein Abbild der funktionellen Thätigkeit des elterlichen Organismus giebt, so werden während der embryonalen Entwicklung diejenigen Organe in der Regel am meisten her-

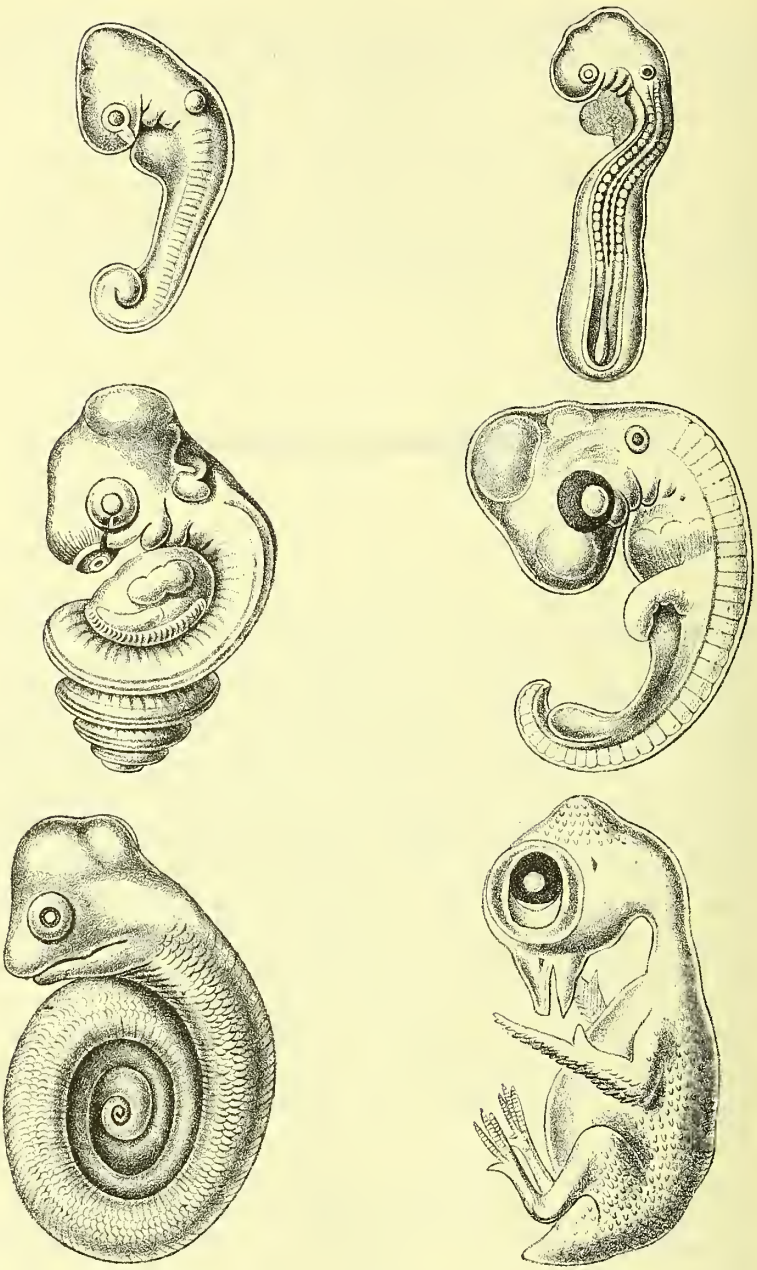


Fig. 50.
Embryonale Entwicklungen nach Haeckel.

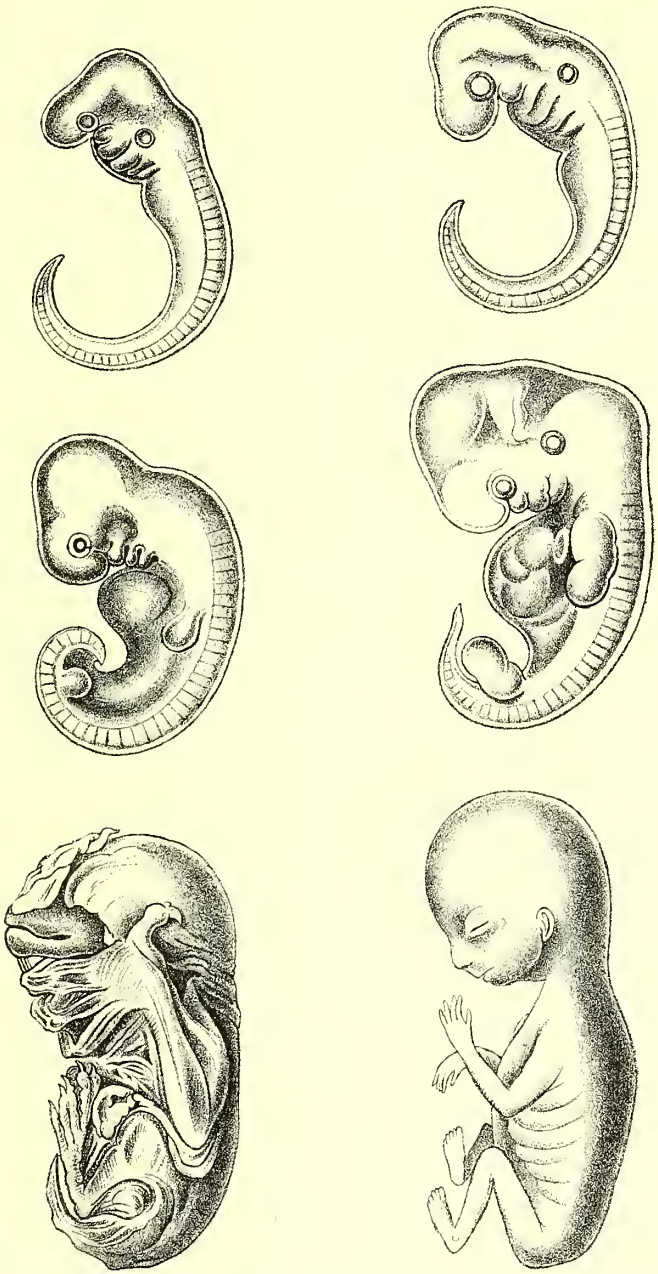


Fig. 50.
Embryonale Entwicklungen nach Haeckel.

vortreten, welche in dem bt. elterlichen Lebewesen am stärksten in Anspruch genommen waren. In der That entwickeln sich bei Hühnern die Augen sehr früh, bei Fledermäusen die Extremitäten usf. (Fig. 50).

Dass es nervöse Verbindungen sind, welche die embryonale Entwicklung beherrschen, dass fast nur nebensächlich die Stammesentwicklung die embryonalen Uebergangsformen mitbedingt, erkennen wir besonders an der Entwicklung des Auges eines Wirbeltierembryos. Die Linse entsteht aus einer Einstülpung der äusseren Haut, des Ektoderms, welche sich zuletzt abschnürt. Die hintere Augenkammer kommt durch eine seitliche Einstülpung des Mesoderms zu stande (Fig. 51), sie scheint anfänglich mit der Linseneinstülpung gar nichts zu thun zu haben.

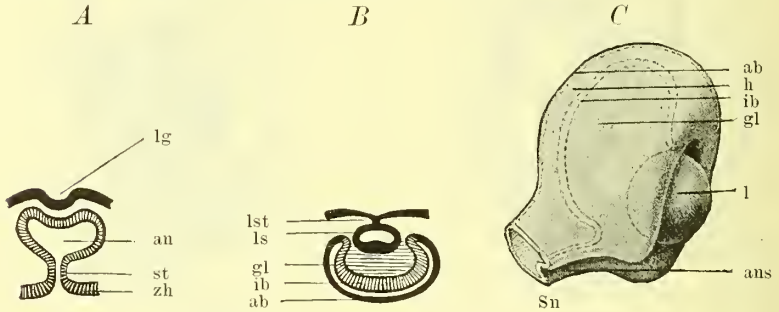


Fig. 51.

A, B Zwei Schemata zur Entwicklung des Auges. A Die primäre Augenblase au, durch einen hohlen Stiel st mit dem Zwischenhirn zh verbunden, wird infolge der Entwicklung der Linsengrube lg eingestülpt. B Die Linsengrube hat sich zum Linsensäckchen ls abgeschnürt. Aus der Augenblase ist der Augenbecher mit doppelten Wandungen, einer inneren ib und einer äusseren ab entstanden. lst Linsenstiel. gl Glaskörper. C Plastische Darstellung des Augenbechers mit Linse und Glaskörper. ab Aeussere Wand des Bechers. ib Innere Wand desselben. h Hohlraum zwischen beiden Wänden, welcher später ganz verschwindet. Sn Anlage des Sehnerven (Augenblasenstiel mit Rinnenbildung an seiner unteren Fläche). aus Augenspalte. gl Glaskörper. l Linse. Nach O. Hertwig.

Auch das Herauswachsen des Sehnervs, des Opticus, aus dem Gehirn scheint zufällig gerade so zu erfolgen, wie es der Entstehung des Auges entspricht. Alles dies ist aber kein Zufall. Die entsprechenden nervösen Fibrillen sind schon lange vorher in der ganzen Länge ausgebildet, sie reichen vom Gehirn bis zum Ektoderm. Sie rufen die Einstülpung des Ektoderms, diejenige des Mesoderms, die Umgestaltung der Teile und die völlige Ausgestaltung des Auges hervor. Ob nun die Zellen, aus denen das Auge aufgebaut wird, dem Ektoderm oder dem

Mesoderm entnommen werden, ist im Prinzip ganz gleichgültig. Sie werden eben denjenigen Stellen entnommen, an welchen die bt. Telodendrien ausmünden. Nur durch das geordnete und vermöge der Keimesanlage vorherbestimmte Zusammenarbeiten aller zusammengehörigen Zellen, vermöge der zwischen ihnen bestehenden zahlreichen nervösen Verbindungen kommen unsere überaus komplizierten Sinnesorgane in so grosser Vollendung zu stande.

Gehirn und Sympathicus.

Das Wachstum der Zellen wird immer von einer nervösen Zentralstelle aus geleitet. Entstehen in der Regel viele ganz oder doch fast ganz gleichartige Zellen unmittelbar nebeneinander, wie beispielsweise in höher entwickelten Tieren, so stellt die Gesamtheit solcher gleichartiger Zellen ein Organ dar. Wie die einzelnen Zellen, so hängen die ganzen Organe durch nervöse Verbindungen mit jener Zentralstelle, mit dem nervösen Zentralorgan zusammen. Gleichartige Nervenzellen desselben Organs vereinigen sich zu Nervenstämmen, oder vielmehr sie bleiben bei den embryonalen Teilungen, weil sie doch alle aus einer einzigen, in der Regel aus einer nervösen Zelle abstammen, aneinander haften, erhalten auch eine gemeinschaftliche Hülle. Solche Nerven gehen von jedem beliebigen Organ zum nervösen Zentralorgan, zum Gehirn, wie man dieses Zentralorgan nennt, wenn viele Hauptzellkörper verschiedener Nerven in ihm zusammengelagert sind, welche alle wichtigen Körperteile miteinander verbinden.

Stehen einzelne Organe zu einander in ganz direkter Beziehung, in spezieller Korrelation, so dass sie viel unmittelbarer aufeinander einwirken, als alle übrigen Organe, so erhalten jene Organe ihre eigenen Nerven, welche nur zwischen ihnen verlaufen, welche mit dem Gehirn gar nicht oder doch nur teilweise und mittelbar in Verbindung stehen. So sind die verschiedenen Organe des Verdauungstraktus höher entwickelter Tiere miteinander in direktester Verbindung, ebenso die meisten übrigen inneren Organe, wie Herz, Lunge, Sekretionsorgane usf. Im Inneren des Menschen arbeiten diese Organe, soviel wir wissen, in der Regel ganz unabhängig von der Beeinflussung

durch das Gehirn; dagegen beeinflussen sie allerdings das Gehirn, wenn sie nicht richtig funktionieren, ein Beweis, dass sie dennoch in anderer Weise an das nervöse Zentralorgan angeschlossen sind. Das Nervensystem, das die inneren Organe miteinander verbindet, unter Vermeidung einer direkten Abhängigkeit dieser Organe vom nervösen Zentralorgan, nennen wir in seiner Gesamtheit „Sympathicus".

Korrelation der Sexualcharaktere.

In ganz besonderer spezieller Korrelation zu einander stehen die sg. primären und sekundären Sexualcharaktere höher entwickelter Tiere, und demnach werden die entsprechenden Organe vermittelst eines eigenen Nervensystems aneinander angeschlossen sein. Ganz sicher muss die erste Anlage für dieses Nervensystem schon in der Fortpflanzungszelle ausgeprägt sein, vermutlich die Anlage für das männliche Individuum in der weiblichen Fortpflanzungszelle, die Anlage für das weibliche Individuum in der männlichen Fortpflanzungszelle (S. 153). Siegt bei der Befruchtung im Kampf, den diese beiden Fortpflanzungszellen miteinander um ihre Nahrung auszufechten haben, die eine von ihnen in Beziehung auf ihre primären Sexualcharaktere [1]), so entwickelt sich nur das entsprechende sexuale Nervensystem nach der bt. Richtung hin, das andere verkümmert. Es entstehen auch alle sekundären Sexualcharaktere nur so, wie sie dem bt. Geschlechtstier zukommen.

Entwicklung verschiedener Charaktere in Ameisenstaaten.

Es wäre nicht undenkbar, dass die Bestimmung des Geschlechts des Nachkommen bei gewissen Arten nicht schon zur Zeit der Befruchtung erfolgen würde, dass vielmehr die beiden Anlagen für die männlichen und für die weiblichen Sexualcharaktere noch eine Zeit lang im embryonalen Keim nebenein-

[1]) Bei der Verschmelzung der Fortpflanzungszellen können von der einen Zelle die einen Substanzen bz. die damit verbundenen Anlagen, von der anderen Zelle aber die anderen Anlagen die stärkeren sein und im Kampfe siegreich bleiben.

ander bestehen könnten, wenn auch unsere Annahme, die definitive Geschlechtsbestimmung erfolge in der Regel schon im Augenblick der Vereinigung beider Fortpflanzungszellen infolge des Befruchtungsvorganges (S. 153), gewiss manches für sich hat. Wie aber die Anlage der männlichen und diejenige der weiblichen Sexualcharaktere in einem Keim, im befruchteten Eikeim eine gewisse wenn auch noch so kurze Zeit sicher nebeneinander bestehen bleiben, bis nämlich die eine Anlage im Kampf um die Herrschaft die andere verdrängt hat, weil im allgemeinen nicht Platz für beide zugleich vorhanden ist, so bestehen in den Keimlingen gewisser Arten andere verschiedenartige Anlagen eine gewisse Zeit lang nebeneinander, bis die eine von ihnen Sieger wird und die anderen verdrängt. Bei Ameisen müssen wir uns beispielsweise vorstellen, dass die weiblichen Embryonen anfangs die Anlagen zu verschiedenen Systemen nebeneinander besitzen. Aus diesen Anlagen entwickelt sich während des weiteren embryonalen Wachstums das Nervensystem, welches die Charaktere einer Königin, oder dasjenige, welches die Charaktere einer Arbeiterin oder eines Soldaten hervorbringt. Zwei oder drei dieser Nervensysteme können nicht nebeneinander und gleichzeitig sich vollständig entwickeln, weil sie an der gleichen Stelle im Körper entstehen müssen und weil auf die Dauer nur eines von ihnen die Korrelation aller Teile des Individuums untereinander aufrecht erhalten kann, nach Massgabe der Entstehung der bt. Art durch Selektion im Kampf ums Dasein. Solange noch alle Anlagen nebeneinander da sind, assimiliert jede ihrer Substanzen, so gut sie kann. Verbrauchen sie aber für die Folge fast ganz die gleiche Nahrung aus derselben Quelle fliessend, so vermag eine von ihnen stärker zu assimilieren als die anderen; sie wächst stärker, verdrängt im Kampf der Teile untereinander die anderen bz. löst ihre Substanzen schliesslich sogar selber auf und verleibt die Molekeln derselben ihrem eigenen Bau ein.

Schon im Embryo wird die eine Anlage stärker vertreten sein als die anderen, so dass unter normalen Verhältnissen aus einem Ei nur eine Königin oder nur eine Arbeiterin, nur ein Soldat entsteht. Indessen scheint sichergestellt zu sein, dass die Ameisen aus einer Larve in der ersten Entwicklungsperiode nach Belieben eine Königin, eine Arbeiterin, einen Soldaten

züchten können, durch mehr oder weniger reichliche Nahrung, durch grössere oder kleinere Wohnung usf. Analog verhält es sich bei Bienen und bei Termiten. Es giebt Ameisenarten, bei denen ausserdem noch alle möglichen Zwischenformen gefunden wurden. Nach Forel kommen sehr grosse, mittlere und sehr kleine Arbeiterinnen im gleichen Stocke vor, unter Umständen in sehr vielen verschiedenen Grössen. Es giebt hie und da sogar Arbeiterinnen, die entwicklungsfähige Eier zu legen im stande sind.

Wahrscheinlich spielt hier noch mehr die Qualität als die Quantität der den Larven verabreichten Nahrung die wichtigste Rolle. Möglicherweise sind die Ameisenarbeiterinnen selber schon in ihren Beschäftigungen vollständig differenziert. Gewisse Arbeiterinnen besorgen das Herbeischaffen der einen, andere dasjenige der anderen Nahrung (S. 171). Bestimmte Arbeiterinnen ziehen namentlich die Larven auf. Gewisse unter ihnen sind besonders im stande, Königinnen zu züchten, andere mehr Arbeiterinnen, wieder andere mehr Soldaten. Es ist meines Wissens namentlich bei Termiten nachgewiesen, dass die den Larven verabreichte Nahrung vorgekaut und also mit Speichel vermischt wird. Man kennt ferner Ameisenarten, deren Soldaten selber keine Nahrung aufnehmen, auch wenn man solche neben sie legt. Sie müssen sich vielmehr Sklavinnen holen, die ihnen die Nahrung eingeben. Ohne Zweifel wird ihnen die Nahrung durch die Sklavinnen nicht nur verabreicht, sondern auch vermittelst eines Sekretes, vermittelst ihres Speichels vorbereitet, verdaulich gemacht. Ohne diesen Speichel verdauen sie die Nahrung nicht; und demnach werden sie dieselbe nicht aufnehmen, sogar dann nicht, wenn sie ihnen vom Beobachter in das Maul gestopft wird.

Aehnlich kann es sich vielleicht mit dem Aufziehen der Larven verhalten. Diejenige Larve, welche die verdaulichste, die am besten vorgekaute und mit Speichel vermischte Nahrung erhält, wird sich zur Königin gestalten. Ihre Organe entwickeln sich rascher als diejenigen anderer Larven bis zu der nötigen Stufe der Vollendung, weil sie die passendste Nahrung erhält. Die Entwicklung ihrer Organe ist also frühzeitig beendigt. Nach kurzer Zeit ist das junge Tier ausgebildet, und weil die Nahrungszufuhr eine reichliche und gute ist, entwickeln sich in ihm

auch noch die Sexualcharaktere; das Tier wird zur Fortpflanzung befähigt.

Unter den Arbeiterinnen, welche mit der Fütterung der Larven sich abgeben, müssen selbstverständlich Verschiedenheiten vorkommen. Die einen von ihnen sind fleissiger als die anderen. Die einen vermischen die den Larven verabreichte Nahrung mit mehr oder mit besserem Speichel als die anderen. Diejenigen unter diesen fütternden Arbeiterinnen, welche die Fütterung besonders fleissig besorgen, welche durch viel bz. durch guten Speichel das Futter leicht verdaulich machen, welche vielleicht ausserdem vom gesamten Nahrungsvorrat des Speichers in gewisser für die Erhaltung der Art günstiger Weise eine Auswahl treffen, sind hauptsächlich befähigt, Königinnen zu züchten. Wird dann, wie wir früher zeigten, der Nahrungsvorrat im Speicher in seinem Bestande merklich geändert, dadurch, dass unter Arbeiterinnen oder Soldaten eine bestimmte der bt. Art nützliche Eigenschaft sich herausbildet, so erhalten auch die Geschlechtstiere des Ameisenstaates, die Königinnen und die Männchen, schon von Jugend auf die entsprechend veränderte Nahrung. Daher wird die von den unfruchtbaren Arbeiterinnen oder Soldaten erworbene günstige Eigenschaft auf dem Wege durch die Nahrung, durch die Vorräte des Speichers hindurch auf die Nachkommen der Geschlechtstiere vererbt.

Weibliche Ameisenlarven, welche in der Verabreichung von Nahrung weniger verwöhnt werden, welche frühzeitig die Nahrung selber ganz verarbeiten müssen, um sie verdauen zu können, haben ihre Verdauungsorgane, ihre zur Verdauung gehörenden Sekretionsorgane stärker zu entwickeln, als die Königinnenlarven. Mit diesen Organen entwickeln sich die übrigen Arbeiterinnencharaktere, die durch ein entsprechendes nervöses System zusammenhängen, in Korrelation zu einander stehen. Es siegt daher, infolge des stärkeren Gebrauchs, infolge der stärkeren Arbeit im Kampf ums Dasein bei der Assimilation das Arbeiterinnennervensystem über das Sexualnervensystem der Königinnen. In analoger Weise muss durch gewisse Aenderung der erhaltenen Nahrung das Soldatennervensystem siegen über die beiden anderen Nervensysteme, und es entwickelt sich aus der Larve ein Soldat. Die Nervensysteme, die aus einer kleinsten Anlage entstehend bei ihrer Weiterentwicklung sämtliche Cha-

raktere der Königin, der Arbeiterin, des Soldaten hervorbringen, bilden in gewisser Beziehung ein Ganzes für sich. Dennoch sind sie abhängig vom nervösen Zentralorgan. Sie müssen mit diesem Verbindungen besitzen, die die Korrelation jener Charaktere mit allen anderen Organen des Tieres aufrecht erhalten. Nur in diesem Falle kann der Gesamtorganismus ein einheitliches Ganzes bilden.

Verschiedenheit der embryonalen Entwicklungen.

Die Entwicklung des Individuums schreitet im allgemeinen fort, bis auch die Sexualcharaktere vollständig ausgebildet sind, also bis zur Geschlechtsreife. Bei den meisten Arten sind die Individuen lange vor der Geschlechtsreife lebens- und selbsterhaltungsfähig. Sehr oft, bei Pflanzen und bei Tieren, begegnet man einem Generationswechsel in der Weise, dass die embryonalen lebensfähigen Zustände, als welche man etwa die Larven der Insekten und dergleichen bezeichnen kann, ganz anderen Arten anzugehören scheinen. Ueberhaupt hat sich durch Differenzierung im Kampf ums Dasein die Entwicklung der verschiedenen Arten in der allerverschiedensten Weise gestaltet. Bei vielen Arten kam der Generationswechsel zu stande, weil die Individuen in den embryonalen lebensfähigen Zuständen sich unter ganz anderen äusseren Lebensbedingungen, unter anderen Temperaturen, Feuchtigkeitsverhältnissen usf. entwickeln mussten, weil die aufzunehmende Nahrung eine ganz andere war, als diejenige der reifen Geschlechtsindividuen. Bei anderen Arten entwickelte sich der Embryo nach der Befruchtung nur bis zu einem gewissen Stadium, um nachher vollständig eingehüllt, eingekapselt, eingeschalt als Same, als Ei gleichsam zu ruhen, einen Dauerzustand anzunehmen, der gewisse ungünstige Perioden überdauern kann; Embryonen in diesen Dauerzuständen werden erst durch hinzutretende Feuchtigkeit, Wärme usf. zu weiterer Entwicklung, zu beginnendem Leben angeregt. Dass die Eier im allgemeinen um so länger im Inneren des mütterlichen Individuums verweilen werden, je weiter dieses Individuum selber differenziert ist und je weiter demnach der Embryo bis zur Lebensfähigkeit sich differenzieren muss, versteht sich wohl von selbst.

Rudimentäre Organe.

Im Tierreich ist bei der phyletischen Entwicklung (Stammesentwicklung) die Differenzierung der Zellen viel weiter vorgeschritten als im Pflanzenreich. Ganz besonders in den Tieren sind aus Zellengruppen ganze Organe entstanden, und in verwandten Tierarten kann man meistens entsprechende Organe an analogen Stellen nachweisen. In zahlreichen Tierfamilien, von den Säugetieren und Vögeln bis zu den Reptilien und Fischen, findet man nicht nur analoge Extremitäten, die dem Tiere zur Fortbewegung dienen, sondern diese Extremitäten sind auch zum Teil überaus ähnlich gebaut. Daher ist anscheinend wirklich die eine Tierart aus der anderen im Laufe phyletischer Entwicklung hervorgegangen, oder, wie es nach unseren Anschauungen wahrscheinlicher ist, alle diese Familien besitzen gemeinschaftliche oder doch ganz analog gebaute Ahnen.

Durch Vergleichung solcher miteinander verwandter Familien und Arten sind manche Forscher dazu gelangt, bei dieser und bei jener Tierart gewisse Organe, deren Funktion nicht mehr die gleiche wie bei einer anderen sonst weniger differenzierten anscheinend verwandten Tierart ist, als „rudimentär“ zu bezeichnen und sie als unwesentlich und unnütz zu betrachten. Diese Annahme ist aber nach unserer Auffassung unzutreffend. Morphologisch entwickelten Teilen von Zellen, wie zb. feinsten Fibrillen, die durch Zellwandungen hindurchdringen, dürfen wir deswegen nicht die Möglichkeit ihrer Existenz absprechen, weil wir sie nicht sehen, weil sie zu dünn sind, um mit unseren besten Mikroskopen wahrgenommen zu werden. Ebensowenig dürfen wir Organen die Möglichkeit jeder Funktion absprechen, wenn unser Beobachtungs- und Auffassungsvermögen noch nicht so weit geschärft ist, dass wir zu erkennen im stande sind, welche Funktion diesen Organen zukommt.

Ein Organ, welches absolut rudimentär im Sinne jener Ansicht wäre, welches also wirklich keinerlei Funktion zu verrichten hätte, zu keiner Zeit, würde sicher sehr rasch völlig verschwinden, was bei den sg. rudimentären Organen offenbar nicht der Fall ist. Wissen wir denn, ob nicht etwa die letzten Wirbel des menschlichen Rückgrats (das Schwänzchen des Embryo) eine notwendige Streckung und Anspannung gewisser an

Eine bekannte Art von Züchtungsversuchen ist für die Menschheit von grösster Wichtigkeit geworden, nämlich die Züchtungsversuche an den kleinsten bekannten Lebewesen, an den Bakterien. Es ist nicht nur gelungen, Reinkulturen von Bakterien zu erhalten, in denen alle Bakterien einer und derselben Art angehören, sondern man ist auch dazu gelangt, durch Aenderung ihrer Lebensbedingungen, durch Aenderung der Nahrung, welche man den Bakterien verabreicht, die Arten selber abzuändern. Bakterien, welche für Menschen, für Tiere, in deren Inneres sie gebracht werden, lebensgefährlich sind, welche grosse Epidemien hervorrufen, welche auf ganze Arten verheerend, todbringend wirken, kann man durch Versetzung unter andere bestimmte Lebensbedingungen so sehr verändern, dass sie infolgedessen nicht nur unschädlich werden, sondern dass sie sogar ihre Wirte für die von ihnen ohne solche Abänderung hervorgerufenen verheerenden Krankheiten „immun" machen. Mit derartig künstlich veränderten Bakterien führt man die bekannten Impfungen aus zum Schutze vor gefährlichen ansteckenden Krankheiten. Ungeheure Erfolge sind ja durch Jenner, Pasteur, Koch und andere in dieser Hinsicht errungen worden.

Weil die Bakterien sich ebenso wie andere Lebewesen durch Züchtung in ihrer Art verändern lassen, so kann man sein Augenmerk darauf richten, künstlich solche Bakterien heranzuziehen, welche in Schädlingen ansteckende tödliche Krankheiten erregen, welche in einfachster Weise dem Menschen die Ausrottung von Schädlingen ermöglichen, und zum Teil sind solche Versuche bereits ausgeführt worden.

---

*Litteratur.

(BD.) A. A. Böhm und M. v. Davidoff, Histologie des Menschen. Wiesbaden 1895. (2. Aufl. Wiesbaden 1898.)

(CC.) C. Claus, Lehrbuch der Zoologie, 2. Aufl. Marburg und Leipzig 1883.

(HC.) H. Credner, Elemente der Geologie, 7. Aufl. Leipzig 1891. (8. Aufl. Leipzig 1897.)

(LD.) L. Döderlein, Phylogenetische Betrachtungen, Biolog. Centralblatt 7. Nr. 13. 1887.

(LE.) L. Edinger, Bau der nervösen Zentralorgane, 4. Aufl. Leipzig 1893. (5. Aufl. Leipzig 1896.)
(EH.) E. Haeckel, Natürliche Schöpfungsgeschichte, 8. Aufl. Berlin 1889. (9. Aufl. Berlin 1898.)
(EH_1.) E. Haeckel, Anthropogenie, 4. Aufl. Leipzig 1891.
(OH.) O. Hertwig, Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte, 5. Aufl. Jena 1896. (6. Aufl. Jena 1898.)
(OH_1.) O. Hertwig, Die Zelle und die Gewebe I, Jena 1893.
(OH_2.) O. Hertwig, Die Zelle und die Gewebe II, Jena 1898.
(OH_3.) O. Hertwig, Zeit- und Streitfragen der Biologie I, Jena 1894.
(OH_4). O. Hertwig, Zeit- und Streitfragen der Biologie II, Jena 1897.
(WR.) W. Roux, Programm und Forschungsmethoden der Entwicklungsmechanik der Organismen, Leipzig 1897.
(SN.) E. Strasburger, F. Noll, H. Schenck, A. F. W. Schimper, Lehrbuch der Botanik, 2. Aufl. Jena 1895 (3. Aufl. Jena 1898).
(MV.) M. Verworn, Allgemeine Physiologie, 2. Aufl. Jena 1897.
(AW_1.) A. Weismann, Allmacht der Naturzüchtung, Jena 1893.
(AW_2.) A. Weismann, Aeussere Einflüsse als Entwicklungsreize, Jena 1894.
(AW_3.) A. Weismann, Neue Gedanken zur Vererbungsfrage, Jena 1895.
(AW_4.) A. Weismann, Ueber Germinalselektion, Jena 1896.
(AW_7.) A. Weismann, Ueber den Rückschritt in der Natur, Freiburg i. B. 1886.

Das biogenetische Grundgesetz Fritz Müllers (MV. 211, 212), welches aussagt, dass Pflanzen und Tiere in ihrer Ontogenie ihre Phylogenie wiederholen (SN. 129 [125]), wird von Haeckel folgendermassen ausgedrückt: „Die kurze Ontogenese oder die Entwicklung des Individuums ist eine schnelle und zusammengezogene Wiederholung, eine gedrängte Rekapitulation der langen Phylogenese oder der Entwicklung der Art (Spezies)“ (EH_1. 64). Mit diesem Gesetz kann man indessen die Phylogenie nicht genau rekonstruieren; denn in der Ontogenie sind immer Lücken oder Sprünge, welche dem Ausfall einzelner Stadien der Phylogenie entsprechen (EH. 191 [191]). Deshalb muss das Gesetz der Cenogenese noch zu Hilfe genommen werden. Die Cenogenese setzt sich zusammen: erstens aus der Verwischung der in der Entwicklungsgeschichte erhaltenen geschichtlichen Urkunde, so dass eine vereinfachte abgekürzte Vererbung zu stande kommt, zweitens aus der Fälschung derselben durch den Kampf ums Dasein, welcher zu einer gefälschten und gestörten Vererbung führt (EH_1. 388). Eine sehr starke cenogenetische Veränderung der Keimung findet man besonders bei den Säugetieren (EH_1. 181). Um einen lückenlosen Stammbaum einer Art aufstellen zu können,

müssen stets noch Zwischenformen angenommen werden, welche jetzt nicht mehr existieren, welche ausgestorben sind (EH$_1$. 233). Manche Forscher glauben, die mechanischen Ursachen für die Differenzierung der Zellen bei der Bildung des Zellenstaates seien in ihren wesentlichsten Punkten die gleichen bei der Ontogenie wie bei der Phylogenie eines jeden Organismus (MV. 583).

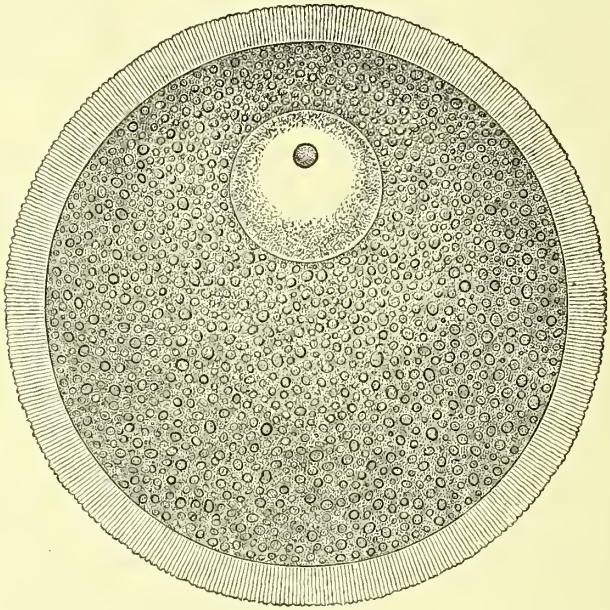


Fig. 52.

Das Ei des Menschen, 400mal vergr. Das ganze Ei ist eine einfache kugelrunde Zelle. Die Hauptmasse der kugeligen Eizelle wird durch den körnigen Eidotter (Deutoplasma) gebildet, welcher in dem aktiven Protoplasma gleichmässig verteilt ist und aus zahllosen feinen Dotterkörnchen besteht. Oben im Eidotter liegt das helle kugelige Keimbläschen, welches dem Zellkern (Nucleus) entspricht. Dieses enthält ein dunkleres Körnchen, den Keimfleck, welcher das Kernkörperchen (Nucleolus) darstellt. Umschlossen ist der kugelige Dotter von der dicken hellen Eihaut (Ovolemma oder Zona pellucida). Diese ist von sehr zahlreichen, radial gegen den Mittelpunkt der Kugel gerichteten haarfeinen Linien durchzogen, den Porenkanälen, durch welche bei der Befruchtung die fadenförmigen beweglichen Samenzellen in den Eidotter eindringen. Nach Haeckel.

Wo Einester gebildet werden, zerfallen dieselben in der Regel, und nur ein einziges Ei gelangt zur Entwicklung (OH. 365). Die Eier der höchstentwickelten Säugetiere haben eine überaus geringe Grösse (EH. 294 [294]). Ihre äussere Hülle, die Zona pellucida, ist von feinen Porenkanälchen durchsetzt, durch welche bei der Befruchtung die Spermatozoen eindringen

(Fig. 52) (EH_1. 118). Solche Porenkanäle scheinen im reifen Ei zu fehlen (BD. 239 [231]). Der jedem Ei mitgegebene Bildungsdotter ist entweder polständig oder in dünner Rindenschicht den Nahrungsdotter umhüllend (OH. 11, 12).

Sind die notwendigen Bedingungen erfüllt, so keimen die Samen, die Eier. Bei der Entstehung ist der Pflanzenkeim zuletzt unter Wasserverlust in einen Zustand latenten Lebens übergetreten (SN. 376 [374]). Bei der Kernteilung ist das Endosperm gebildet worden, das indessen bei vielen Pflanzen durch den heranwachsenden Keim wieder vollständig verdrängt wird (SN. 399 [399]). Innerhalb des Embryosacks erreicht der

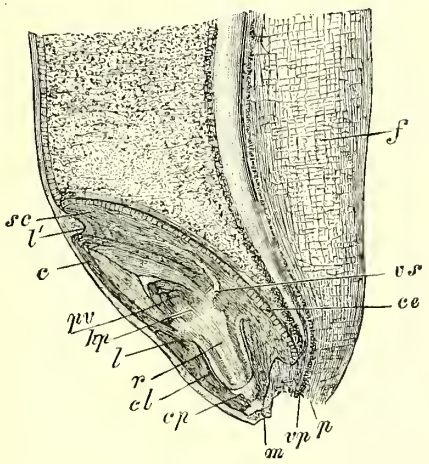


Fig. 53.

Medianer Längsschnitt durch den Basalteil eines Weizenkorns. Links unten der Keim mit dem Scutellum sc, vs Gefässbündel des Scutellums, ce sein Cylinderepithel, c Scheidenteil des Cotyledon, pv Stammvegetationskegel, hp Hypocotyl, l Ligula an demselben, r Radicula, cl Wurzelscheide, m Austrittsstelle der Radicula, p Fruchtstiel, vp Gefässbündel desselben, f Seitenwandung der Furche. Vergr. 14. Nach Strasburger.

Keim eine mehr oder weniger beträchtliche Grösse und Differenzierung (Fig. 53) (SN. 376 [374]). Im feuchten Boden quillt der Same, die Samenhülle wird gesprengt (SN. 259 [258]). Der Same richtet sich auf bei der Keimung, die Wurzeln gehen abwärts, der Stengel aufwärts (SN. 217 [216]). Höher differenzierte Blätter treten bei der Keimesentwicklung erst nach und nach hervor; zuerst erscheinen die weniger differenzierten Blätter in gewisser Anzahl (SN. 40 [40]). Bei der weiteren Entwick-

lung kann dieselbe Knospe, je nach unserer Behandlung, noch Dorn, Langspross usf. werden (OH_3. 113).

Die Eier der Blattwespen nehmen in den Blättern durch Imbibition von Pflanzensäften an Grösse zu (CC. 534). Aus der gefässhaltigen Follikelkapsel wird Nahrungssubstanz durch die Follikelzellen zum Ei transportiert (OH. 367). Nach der Seite, an welcher die Stoffaufnahme stattfindet, wird die Oberfläche des nahrungsuchenden Eies in auffälliger Weise vergrössert (Fig. 54) (OH_1. 262). Nach Korschelt findet man bei vielen tierischen Eizellen eine Zellkernbewegung dahin, wo Wachstum, wo Veränderungen zu stande kommen. Es giebt Eizellen, welche in der Regel eigene Nährzellen besitzen (Fig. 55); der Kern sendet Pseudopodien gegen die Nährzellen aus, ähnlich wie bei sezernierenden Zellen (MV. 521). Ist die Nahrung nicht hinreichend vorhanden, so können zb.

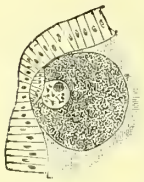


Fig. 54.

Junges Ei von Adamsia rondeleti. Vergr. 145. Nach Korschelt, Ste. 47, Fig. 8.

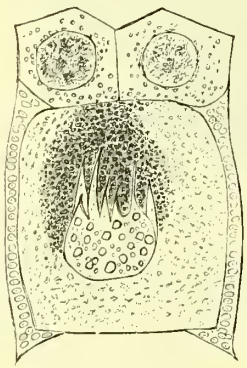


Fig. 55.

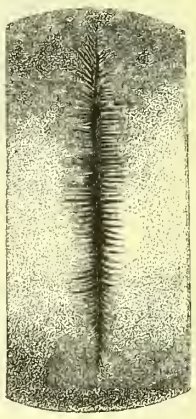


Fig. 56.

Fig. 55. Eizelle von Dytiscus marginalis, darüber zwei Nährzellen. Aus den Nährzellen tritt Nährmaterial in die Eizelle hinein, und der Kern der Eizelle sendet spitze Pseudopodien nach diesem Material aus. Nach Korschelt.

Fig. 56. Stück von der oberen Hemisphäre eines Eies von Rana temporaria eine Viertelstunde nach dem Sichtbarwerden der ersten Furche, zur Zeit, wo der Strahlenkranz am schärfsten und schönsten ausgebildet ist. Nach Max Schultze.

bei den Daphniden die halbreifen Eier im Ovarium wieder aufgelöst werden (AW_2. 31). Die Keimblase der Säugetiere vergrössert sich stark durch Zunahme von Flüssigkeit, die viel

Eiweiss enthält (OH. 108). Am Rande des Keimes findet ein lebhafter Verbrauch von Reservestoffen statt (OH. 187).

Eine Folge des Eiwachstums ist die Eifurchung. Es schnüren sich Zellen ab (EH. 170 [170]). Bei Gliedertieren findet man die oberflächliche Furchung entwickelt (EH_1. 172). Bei Froscheiern zeigt die erste Furche zahlreiche Seitenfalten, einen ganzen Faltenkranz (Fig. 56) (OH. 62), welcher auf Spannungserscheinungen im Protoplasma hindeutet. Bei Reptilien und Vögeln ist die Dotterfurchung partiell, weil die bt. Eier eine sehr grosse Dottermasse besitzen; bei den sehr kleinen Säugetiereiern ist dieselbe total (EH. 640 [657]). Bei Placentaltieren sind schon die ersten beiden Furchungszellen an Grösse und Beschaffenheit verschieden (EH_1. 209). Die Furchungskugeln sind, wie wir weiter oben zeigten, überhaupt nie genau gleich, aber allerdings unter Umständen sehr wenig verschieden. Nach W. Roux entspricht beim Froschei die erste Teilung in zwei Furchungskugeln den beiden Körperseiten (OH_3. 54). Diejenige Eihälfte, welche vom Samenkörper durchsetzt worden ist, wird nach demselben Forscher zur kaudalen Hälfte des Embryo (WR. 183).

Mit der Eifurchung beginnt auch die Arbeitsteilung der Zellen, die Differenzierung derselben (EH. 270 [270]), die Sonderung in äussere, zb. Sinneszellen, und in innere, zb. Verdauungszellen (OH. 96). Die Abschnürungs- und Differenzierungsprozesse beginnen am vorderen Ende des Embryo (OH. 117, 129). Die Eizellen entwickeln sich fort und fort unter dem Einfluss von Schwerkraft, Licht, Wärme usf. (OH_3. 81). Die Entwicklungsbedingungen ändern sich aber beständig für den Embryo (OH_3. 82). Die Entfaltung der Anlagen ist im Embryo von den äusseren Bedingungen auch abhängig (OH_3. 99).

Durch Schütteln von Seeigeleiern werden kleine runde befruchtungsfähige Stücke abgetrennt, aus welchen Boveri noch einzelne Zwerglarven züchten konnte. Nach der Trennung der beiden ersten Furchungskugeln hat Driesch doch aus beiden eine Blastula und eine Gastrula, aus einzelnen sogar selbst einen Pluteus erhalten (OH_1. 285). Froscheier können mit der äusserst feinen Spitze einer Glasnadel angestochen werden. Geht auch dabei ein Teil des Einhalts zu Grunde (OH_1. 14), so kann sich doch ein wohlgebildeter Froschembryo daraus entwickeln (WR. 146). Der halbe Embryo entsteht dabei wohl erst

nachher, aber doch sehr bald nachher. Durch Schütteln können auch die Furchungszellen von Amphioxus geteilt werden; jede einzelne entwickelt sich unter günstigen Umständen doch zu einer ganz regelmässig ausgebildeten Gastrula (OH. 80). Bei

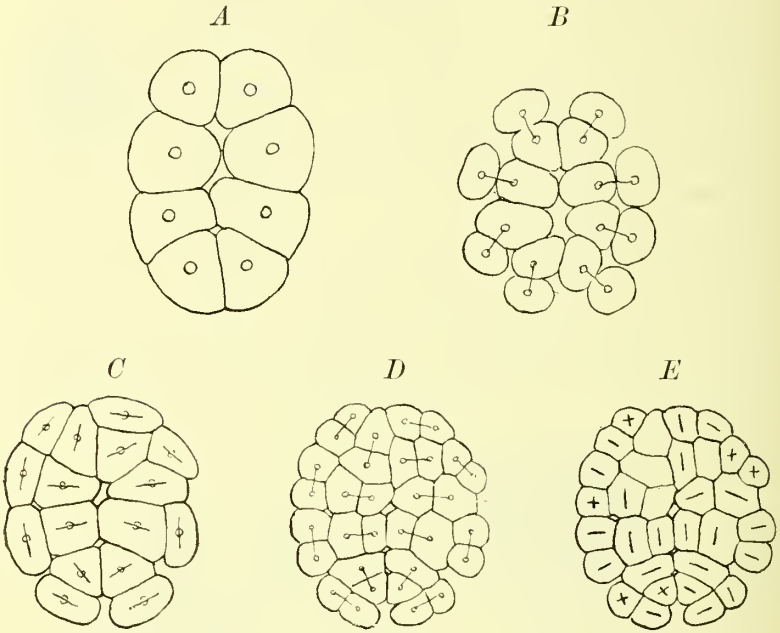


Fig. 57.

Befruchtetes Ei von Echinus microtuberculatus im Durchströmungscompressorium gepresst. A Stadium von 8 Zellen, B von 16 Zellen. C Dasselbe Ei in Vorbereitung zur nächsten Teilung. D Durch Teilung der 16 Zellen (C) durch vertikale Teilebenen sind 32 in einer Ebene nebeneinanderliegende Zellen entstanden. E Die Teilung in 64 Zellen erfolgt in den meisten Fällen noch durch vertikale Teilebenen, was durch horizontale Striche (Richtung der Spindelachse) angegeben ist. In den mit einem Kreuz + bezeichneten Zellen steht die Spindelachse vertikal oder schräg, so dass die Teilebene in mehr oder minder horizontaler Richtung erfolgt.
Nach H. E. Ziegler.

Einschnürung in der Zweiteilung des Eies nach der Teilebene werden aus Tritoneiern Missbildungen erhalten (OH_3. 61). Driesch hat aus allen acht ersten Furchungskugeln vollkommene Individuen erhalten können. Seine Versuche sind seither von vielen Beobachtern bestätigt worden (MV. 541).

Ein wohlentwickelter Frosch entsteht auch aus künstlich in erzwungenen Stellungen erhaltenen Froscheiern (OH_1. 285). Zwischen zwei Glasplatten geklemmte Froscheier teilen sich so, dass die aus ihnen hervorgehenden Zellen nur in einer Ebene

sich lagern können; dennoch werden normale Embryonen daraus (MV. 541). H. E. Ziegler hat die erste Entwicklung befruchteter zusammengepresster Eier genauer verfolgt (Fig. 57) (OH_2. 98). Nach Pflüger und Hertwig ist es ziemlich gleichgültig, wie die Furchung geschieht, wie das Baumaterial in kleine Bausteine verwandelt wird (OH_4. 117). Werden dagegen Froscheier gepresst und um 180 ° gedreht, so dass der vegetative Pol oben liegt, so entwickeln sie sich ganz asymmetrisch (OH_3. 61). Osc. Schultze erhielt dabei Zwillinge, eventuell zusammenhängende (OH_4. 130). Sogar alle 32 ersten Kerne können wie Kugeln verlagert werden; dennoch entsteht ein richtiger Embryo (OH_4. 117). Aus der Morula geht die Blastula, die Keimblase hervor (OH. 73), aus dieser die Gastrula. Die Keimhautzellen der Blastula sind ursprünglich sehr regelmässig und gleichartig gebildet (EH_1. 165). Wird ein Teil der bereits ausgebildeten Gastrula zerstört, so geht aus ihr nicht eine vollkommene Neu- oder Missbildung hervor, sondern nur leicht ableitbare Abänderungen. Fig. 58 erläutert alle Stadien vom Ei bis zur Gastrula (EH_1. 490).

Im Keimbläschen befindet sich ein zartes Lininfadennetz, welches den Kernsaft durchzieht (Fig. 59) (OH. 8). Bei der Embryonalentwicklung erkennt man häufig zuerst das Nervensystem. Die erste Anlage des Nervensystems ist beim Hühnchen schon am ersten Tage der Bebrütung wahrnehmbar (OH. 206). Auch bei den Embryonen der Säugetiere (zb. der Kaninchen) ist diese erste Anlage äusserst früh sichtbar (EH_1. 295). Solche Beobachtungen müssen in der That unsere Annahme empfehlenswert erscheinen lassen, dass die ganze Keimesentwicklung schon von ihren ersten Anfängen an in der einfachen Zelle von einer nervösen Zentralstelle aus geleitet werde. Denn was wir sehen, hat sich schon sehr weit entwickelt. Lange bevor wir sie unterscheiden können, sind Differenzierungen wirklich zu stande gekommen. Zwar kann man nicht an eine undenkbar feine, wohl aber muss man an eine unsichtbar feine Struktur in der Eizelle glauben (vgl. MV. 544); denn die Molekeln, die Molekelaggregate und sogar Gebilde aus denselben, welche 1000 Molekeln im Durchmesser nebeneinander besitzen, werden uns in der Regel immer noch unsichtbar sein.

Das äussere Keimblatt ist der Mutterboden für das Nerven-

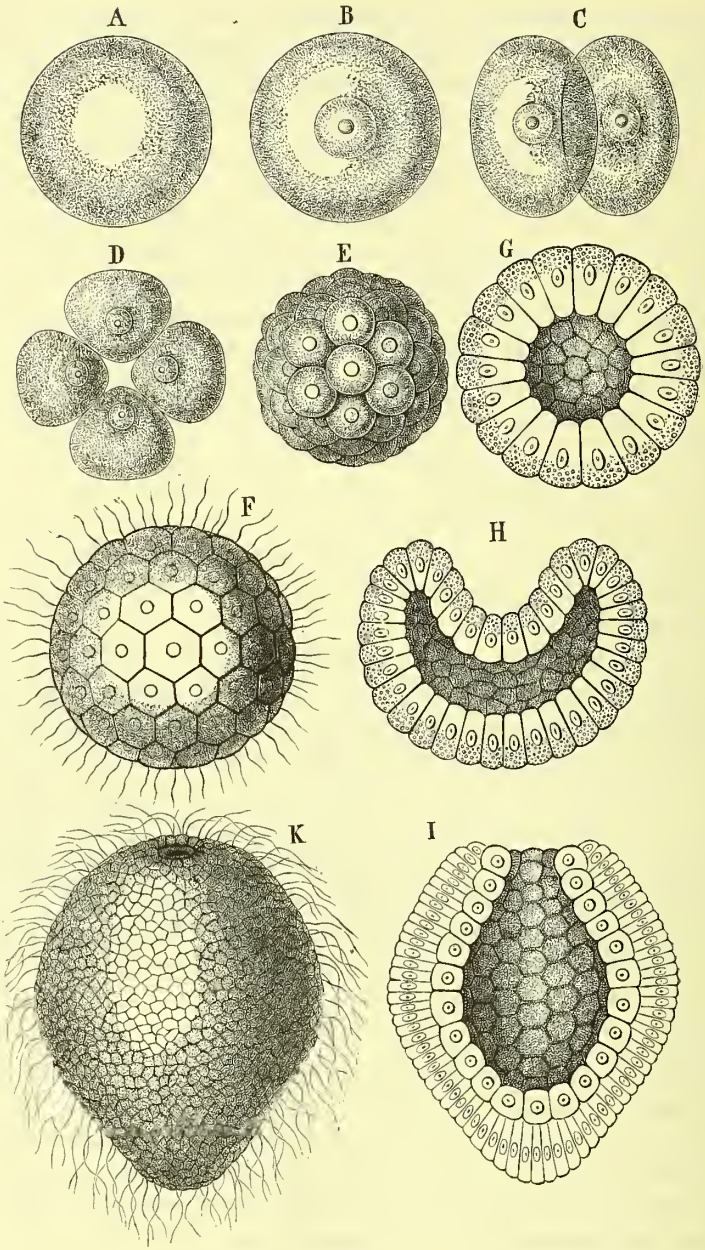


Fig. 58.

Gastrulation einer Koralle (Monoxenia Darwinii). A, B Stammzelle (Cytula) oder befruchtete Eizelle. Der neugebildete Stammkern ist in A noch nicht sichtbar, in B deutlich. C Zwei Furchungszellen. D Vier Furchungszellen. E Maulbeerkeim

(Morula). F Blasenkeim (Blastula). G Blasenkeim im Durchschnitt. H Eingestülpter Blasenkeim im Durchschnitt (Depula). I Gastrula im Längsschnitt. K Gastrula oder Becherkeim, von aussen betrachtet. Nach Haeckel.

system (OH. 401). Gehirn und Nerven entstehen durch Wucherung des Ektoderms (CC. 348). Auch die funktionell wichtigsten Teile der Sinnesorgane entstehen aus dem Ektoderm (OH. 96). Je nach der bt. Art entwickelt sich ein bauchständiger Primitivstreifen,

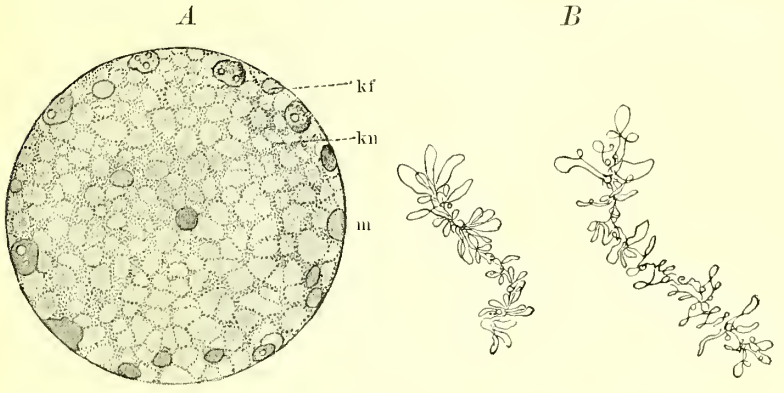


Fig. 59.

A Keimbläschen eines noch unreifen, kleinen Froscheies. Es zeigt in einem dichten Kernnetz (kn) sehr zahlreiche, meist wandständige Keimflecke (kf). m Kernmembran. Nach O. Hertwig. B Zwei Stücke von Chromatinfadensträngen aus dem Keimbläschen eines Eierstockseies von Triton taeniatus. Nach Born. Das Ei hat einen Durchmesser von $^3/_4$ mm. Das zentrale Keimbläschen mass $^1/_4$ mm.

aus dem besonders die Ganglienkette entsteht (CC. 366), oder der Primitivstreifen entsteht am Rücken (Fig. 60) (EH_1. 221). Bei Vertebraten entsteht aus der Medullarplatte ein Nervenrohr, und der Medullar-Zellmasse lagern sich noch von aussen Nervenfasern auf. Die Zellen des Rohrs differenzieren sich und werden teils zu Stützzellen, teils zu Ganglienzellen und zu Nervenfasern usf. (OH. 403). Die Nervenfibrillen entstehen aus protoplasmatischen Zellverbindungen, welche die bt. Lage schon haben (OH. 435). Kupfer sieht die Nerven aus Ketten aneinandergereihter Zellen entstehen (OH. 436); indessen sieht er eben anfangs wegen der Kleinheit der zugehörigen Fibrillen nur die Zellkerne. Bei den Ganglien des Sympathicus entstehen nachträglich Längskommissuren derselben (OH. 441). Da, wo das Auge entsteht, beobachtet man zuerst ein Einstülpen der Augengrube und eine Ausstülpung des Vorderhirns (Augenblase) (BD. 327 [325], EH_1. 674, 675). Die Gleichzeitigkeit

beider Vorgänge lässt erkennen, dass ein nervöses Zentralorgan feinste Fibrillen an beide voneinander getrennten Stellen hinsendet, dass es hier und dort das Wachstum, die Entwicklung zugleich leitet und dass vollständig planmässig alle Zellen sich entwickeln, die später eines unserer bewunderungswürdigsten Organe, das Auge, zusammensetzen.

Die grösste Schwierigkeit embryonaler Untersuchungen besteht in der Verfolgung des Entstehens der marklosen Nerven-

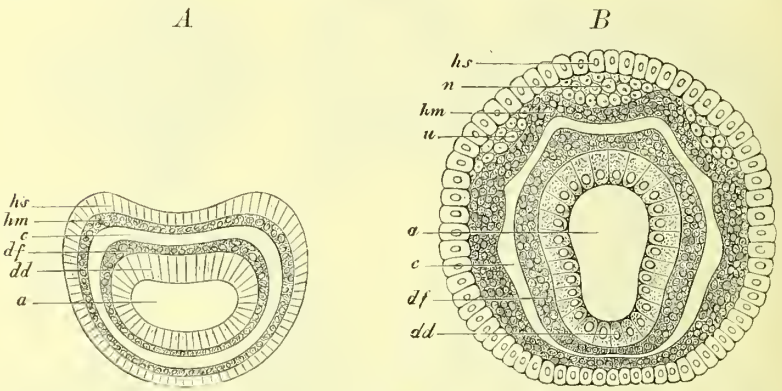


Fig. 60.

Schema der vier sekundären Keimblätter, Querschnitt durch Metazoen-Keime. A von einem Anneliden, B von einem Helminthen. a Urdarm. dd Darmdrüsenblatt. df Darmfaserblatt. c Leibeshöhle. hm Hautfaserblatt. hs Hautsinnesblatt. u Anlage der Urnieren. n Anlage der Nervenplatte. Nach Haeckel.

fibrillen und ihrer Endigungsweise (OH. 428). Bei der Entwicklung der Nervenfasern in der Opticusfaserschicht beobachtet man zuerst zentripetales, später zentrifugales Wachstum (BD. 328 [325]). Die bt. Nervenfasern werden vermutlich nach unseren Erläuterungen (S. 205) zu peripher, bz. zu zentral liegenden Zellkernen gehören. Die Hemisphärenblasen haben zuerst dünne Wandungen (OH. 421). Auch an den Gehirnwandungen entstehen aber mehr und mehr Ganglien und Nervenfasern (OH. 409). Im Rückenmark findet man mehr graue Kerne, von einem Mantel weisser Substanz umhüllt, im Gehirn ausserdem auch eine graue Rindensubstanz (OH. 409). Die Zunahme des Grosshirns geht parallel mit einer Zunahme der Intelligenz (OH. 422). Der Arbeit des Gehirns entsprechend wird dasselbe mit zahlreichen Blutgefässen versorgt, welche die nötige Nahrung herbeiführen (OH. 425).

Sehr früh werden bei der Keimesentwicklung die sg. Ursegmente sichtbar (OH. 173). Dieselben sind nahezu paarige Würfel (EH_1. 330), (Fig. 61). Aus den Ursegmenten bilden sich unter anderem Muskeln. Durch Faltung vermehren sich die Muskel-

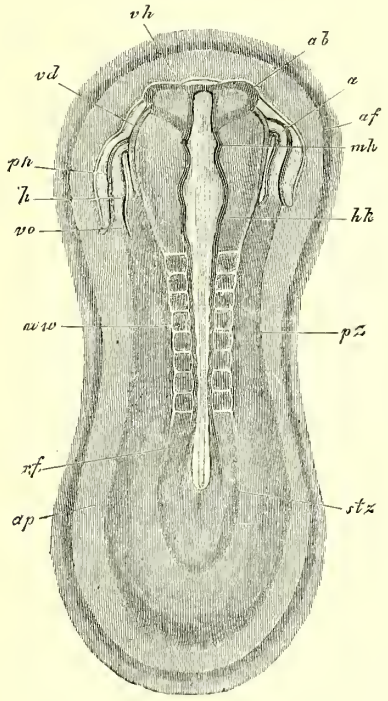


Fig. 61.

Kaninchenembryo des 9. Tages, von der Rückenseite gesehen. Nach Kölliker. 21-fach vergr. Man unterscheidet die Stammzone (stz) und die Parietalzone (pz). In der ersteren haben sich acht Paar Ursegmente (uw) zur Seite der Chorda und des Nervenrohrs angelegt. ap heller Fruchthof; rf Rückenfurche; vh Vorderhirn; ab Augenblasen; mh Mittelhirn; hh Hinterhirn; h Herz; ph Pericardialteil der Leibeshöhle; vd durchschimmernder Rand der vorderen Darmpforte; af Amnionfalte; vo Vena omphalomesenterica.

zellen (OH. 332). Man sieht aus unregelmässigen niedrigen Falten Muskelprimitivbündel oder quergestreifte Muskelfasern entstehen (OH. 333). Die Muskelsegmente ordnen sich in bestimmter Weise an, und es führen Blutgefässe in dieselben hinein (Fig. 62) (OH. 339). Die Segmentierung der Wirbeltierkörper beginnt in der Nackengegend, breitet sich von da nach vorn und nach hinten aus (OH. 342). Auch bei den Muskelzellen der Cölenteraten gehört zu jeder Zelle eine Fibrille

(OH. 331). Die Herzkontraktionen beginnen bei der Bebrütung schon bevor die Muskelfibrillen nachweisbar sind (OH. 515).

Ueberaus interessante Gebilde bei den Embryonen höherer Tiere sind ihre Embryonalhüllen, die zum Teil die ausschliessliche Ernährung des Embryo vermitteln (EH. 627, 628 [642, 643]) (OH. 215). Die Uebereinstimmung der anfänglichen Entwicklungsstadien der Eihäute bei Säugetieren, bei Vögeln und bei Reptilien, also des Amnion und der Allantois, ist eine sehr

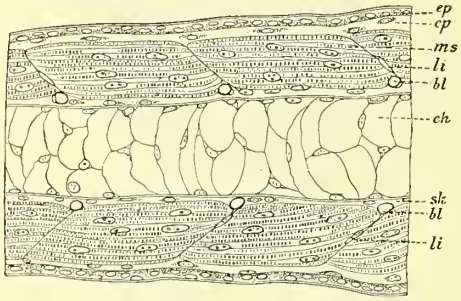


Fig. 62.

Frontalschnitt durch die Mitte des Rumpfes einer schon längere Zeit ausgeschlüpften Tritonlarve, um die Anordnung der Muskelsegmente ms zu zeigen. ch Chorda. ep Epidermis. cp Cutisplatte, embryonales Gallertgewebe. ms Muskelsegmente. li Ligamenta intermuscularia. bl Blutgefässe. sk skeletogene Chordascheide. Nach Hertwig.

merkwürdige (OH. 225). Diese Häute sind aber gewiss niemals Teile wirklich lebensfähiger Individuen gewesen, durch welche diesen die Nahrung zugeführt wurde; somit versagt beispielsweise hier das biogenetische Grundgesetz vollständig. Der Embryo schwimmt gewissermassen in der Amnionflüssigkeit und führt Bewegungen in ihr aus (OH. 216), rhythmische Bewegungen, welche unter dem Wiegen des Embryo bekannt sind. Vom achten Tage der Bebrütung an nehmen die rhythmischen Bewegungen des Hühnchenembryos im Amnion an Häufigkeit und Stärke wieder ab (OH. 222). Die Allantois ist das wichtigste embryonale Atmungsorgan der Reptilien und Vögel (OH. 221); bei Säugetierembryonen übernimmt die Allantois vermittelst der Placenta den wichtigsten Teil der Ernährung. Dabei findet aber kein direkter Blutaustausch zwischen dem mütterlichen und dem kindlichen Organismus statt (OH. 257).

Der Trennungsprozess in der Aorta verläuft unabhängig von demjenigen in der Herzkammer (OH. 525). Es ist dies ein weiterer Beweis dafür, dass die ontogenetische Entwicklung nicht ein getreues Abbild der phylogenetischen ist. Die vier Tafeln VI bis IX Haeckels in seiner Anthropogenie zeigen, dass diejenigen Organe, welche von den ausgebildeten Tieren am stärksten gebraucht werden, zuerst kräftig sich zu entwickeln beginnen (vgl. Fig. 50 S. 206, 207). Besonders auffällig ist dort diese Entwicklung bei den Augen von Eidechsen, von Hühnern usf.,

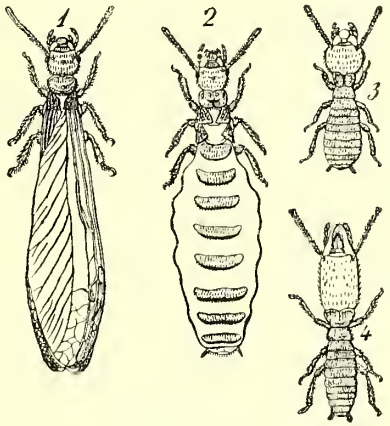


Fig. 63.

Termes lucifugus. 1 Geflügeltes Geschlechtstier. 2 Weibchen nach Verlust der Flügel mit Resten derselben. 3 Arbeiter. 4 Soldat. Aus Leunis-Ludwig.

bei den vorderen Extremitäten der Fledermäuse, beim menschlichen Gehirn (EH_1. 352). Demnach scheint wirklich die Keimesentwicklung gewissermassen ein Abbild der funktionellen Thätigkeit der Organe der elterlichen Tiere zu sein, unserem vierten biologischen Fundamentalsatz entsprechend.

Für die Erklärung der Vererbung erworbener Eigenschaften sind Bienen, Termiten, Ameisen wegen ihres Polymorphismus überaus wichtig. Bei Bienen findet man Königinnen, Arbeiterinnen, Drohnen; bei den Termiten (Fig. 63) und Ameisen ausser den männlichen und weiblichen Tieren und den Arbeiterinnen noch Soldaten. Die Arbeiterinnen und die Soldaten bleiben geschlechtslos (OH_3. 122). Aber diese beiden Arten sowie die Königinnen entwickeln sich aus den gleichen Eiern, die Köni-

ginnen bei grosser Wohnung, bei Platzvorrat und reichlichem Futter, die Arbeiterinnen bei engen Zellen und wenig Futter (OH_3. 125).

Es giebt auch Ameisenarten, welche sich Sklaven halten (AW_1. 48) (AW_7. 26). Solche Ameisen erkennen unter Umständen ihre Nahrung nicht, sie müssen also eine Sklavin haben, welche ihnen in ihrem Kropf die Nahrung bringt (AW_1. 53). Hier wird das Nichterkennen der Nahrung darauf beruhen, dass die Nahrung ohne den Speichel der Sklavin einfach ungeniessbar ist, unverdaulich bleibt für den Sklavenhalter. Wahrscheinlich spielt auch der Speichel der die Larven fütternden Arbeiterinnen stets eine grosse Rolle (S. 212). Drei Tage erhalten alle Larven der Bienen gleiche Fütterung, dann kommt erst die reichlichere Fütterung einzelner Larven (AW_2. 39). Es ist nicht undenkbar, dass die fütternden Arbeiterinnen nach dieser Zeit bereits diejenigen Larven erkennen, welche sich in erster Linie zu Königinnen eignen. Die Bienenzüchter glauben, dass nur ganz junge Larven von 1—4 Tagen von den Arbeiterinnen zu Königinnen gewählt werden (AW_2. 40). Bei den Termiten werden die Geschlechtstiere mittels eines nahrungsreichen Sekretes der Arbeiterinnen hervorgerufen (AW_2. 65). Nimmt man den Termiten ihre Soldaten weg, so machen sie sich neue aus den vorhandenen Larven durch passende Fütterung (AW_2. 66). Bei den Ameisen hat Forel ungemein interessante Beobachtungen angestellt. Er fand Zwischenformen, zb. solche mit vollkommen ausgebildeten zahlreichen Eiröhren, wie die Königinnen sie besitzen, sonst aber im Körperbau, im Gehirn usf. wie die Arbeiterinnen beschaffen (AW_2. 76). Auch die umgekehrte Kombination war vorhanden (AW_2. 77). Auf dem Uetliberg bei Zürich fand Forel zwei Jahre nacheinander in einem und demselben Neste bis zu einem Fünftel aller Ameisen als solche Zwischenformen ausgebildet (AW_2. 78). Bei gewissen Ameisenarten fand derselbe Arbeiterinnen in allen Grössen, von $2^1/_2$ bis zu 15 mm Länge. Sie alle sind nützlich und arbeiten (AW_3. 39). Alle entwickeln sich anscheinend aus gleichen Eiern. Zweifellos haben solche Arbeiterinnen eine Teilung der Arbeit eingeführt. Die einen werden diese, die anderen jene Nahrung herbeischaffen, wieder andere die Blattlauszucht oder die Fütterung dieser oder jener Larvenarten besorgen (vgl. S. 171).

Parallel mit der Verkümmerung von Organen bei den Arbeiterinnen gehen Verstärkungen anderer Organe.

Bei Wirbeltieren erfolgt die volle Ausbildung gewisser Nasenhöhlen erst zur Zeit der Geschlechtsreife (OH. 487). Bei Ameisenköniginnen und -Männchen werden immer Flügel entwickelt, auch wenn sie gar nicht gebraucht werden (AW_3. 51). Gliedertiere gelangen mit völlig erhärteten, gebrauchsfertigen Gliedern und Gelenken in die zeugungsfähige Form. Es erscheint danach nicht erst die Funktion das Gelenk zu erzeugen (AW_3. 57), wie Tornier geglaubt hat (vgl. S. 174).

Die Keimesentwicklung schreitet von der tiefsten bis zur höchsten Stufe fort. Pflanzen und niedere Tiere legen ihre Samen und Eier einfach ab, ohne sich weiter um dieselben zu kümmern. Vögel bebrüten ihre Eier. Noch höher entwickelte Tiere bringen lebende Junge zur Welt. Merkwürdigerweise giebt es puppengebärende Insekten (EH. 591 [605]). Es kann die Ringelnatter, je nach örtlichen Verhältnissen, Eier legen oder lebende Junge gebären (EH. 225 [225]).

Durch Nahrungswechsel können Pflanzenvariationen bewirkt werden (SN. 130 [126]). Bei gewissen Algen findet man die erste Teilung von Zellen in ernährende, bewegende und fortpflanzende (AW_1. 69). Bei Lebermoosen ist schon die Differenzierung von Zellen zu transportierenden Zellen fortgeschritten. Auch Luftkammern für die Luftatmung sind bei ihnen ausgebildet worden (SN. 339 [337]). Die Gefässbündelbildung beginnt bei den Laubmoosen (SN. 343 [341]). Weil die Pteridophyten in Stämmen, Wurzeln und Blättern schon wohldifferenzierte Gefässbündel besitzen, nennt man sie Gefässkryptogamen (SN. 351 [349]). Die Staub- und Fruchtblätter der Phanerogamen sind den Sporophyllen der Pteridophyten (Kryptogamen) durchaus homolog. Sie sind demnach phylogenetisch als metamorphosierte Laubblätter zu betrachten, obwohl sie in den meisten Fällen mit solchen keine Aehnlichkeit mehr besitzen (SN. 373 [370]. Bei Pflanzen und Tieren ist die allmähliche Entstehung eines Organs, etwa eines Schutzorgans, auch abhängig von der Benötigung desselben. Sie ist zb. abhängig von der Scharfsichtigkeit und Häufigkeit der Feinde, von der Fruchtbarkeit der Art, von ihrer Häufigkeit, von ihrer Verfolgung in früheren Entwicklungsstufen usf. (AW_4. 77). Ein unnötig gewordenes Organ

degeneriert, wie wir das bei zahlreichen Schmarotzern wahrnehmen (EH. 232 [232]). Oft beobachtet man den Atavismus, das heisst den Rückschlag um eine, zwei, sogar um drei Generationen (MV. 183).

Aus der kontraktilen Substanz der Amöben entwickelten sich phyletisch die Wimpern, Geisseln, Muskeln, nach Verworn. Engelmann fand Rhizopoden (Acanthocystis), welche ihre fadenförmigen, geraden, unverzweigten Pseudopodien auch blitzschnell zurückziehen können. Andere Pseudopodien schwingen pendelnd (MV. 256). In seiner Schöpfungsgeschichte hat E. Haeckel besonders auf die durch weitergehende Differenzierung neu entstehenden Organe, auf den Ursprung von solchen, hingewiesen, auf das Urhirn (EH. 534 [538]) und auf die Rohrnieren oder Nephridien als Urnieren bei Plattentieren (EH. 535 [539]), auf die Urlungen, Urluftröhren der Peripatiden (EH. 581 [588]), die Urflügel (EH. 585 [597]), die Urmammae, bei denen ein nahrhafter Schweiss abgeleckt wird (EH. 651 [667]), auf das Urauge (EH. 759). Es lassen sich die Anfänge der Sinnesorgane nachweisen (CC. 66) usf. Die fortschreitende Entwicklung der Nervenverzweigung wird anschaulich gemacht an der Tierreihe: Regenwurm, Schnecke, Wirbeltier (Fig. 64) (LE. 22, 23 [40]). Die Chorda ist die erste ungegliederte Anlage eines Wirbeltierskeletts (CC. 632); eine Placenta findet sich schon bei Salpen (CC. 629). Als das älteste Hauptorgan wird der Darmkanal bezeichnet (EH_1. 356).

Besonders bemerkenswert ist auch die Anpassung von Individuen an ihre Umgebung oder an andere Individuen; die Anpassung von Blättern des Wasserhahnenfusses an das umgebende Medium, so dass dieselben gelappt oder fein zerschlitzt sind, je nachdem sie auf oder unter dem Wasser sich befinden (SN. 25 [25]); die mimetische Anpassung von Tieren an ihre Umgebung, die „Mimicry“ (EH. 233 [233]). Infolge von sekundärer Anpassung (CC. 491) sind Insektenlarven häufig von ihrer Umgebung fast nicht zu unterscheiden. Raupen nehmen die Farben ihrer Unterlage an, sogar diejenige von farbigem Papier. Gewisse Raupen können sogar fast ganz beliebige Farben annehmen (AW_2. 20). Bei vielen Tieren beobachtet man fast plötzliche Farbenänderungen (AW_2. 21). Eine interessante Mimicry haben namentlich viele Schmetterlinge durch Selektion im Kampf

ums Dasein erhalten (AW_4. 10). Artemia salina in salzreichen Wassertümpeln nimmt je nach dem Salzgehalt ganz verschiedene Organisationen an (AW_2. 45). Verhindert man die Kaulquappen daran, ans Land zu gelangen, so entwickeln sie sich mit Kiemen und Schwanz weiter, und sie können eine stattliche Grösse erreichen (MV. 188). Die Pandschab (Indier) haben gewisse Muskeleindrücke an den Knochen der Beine und

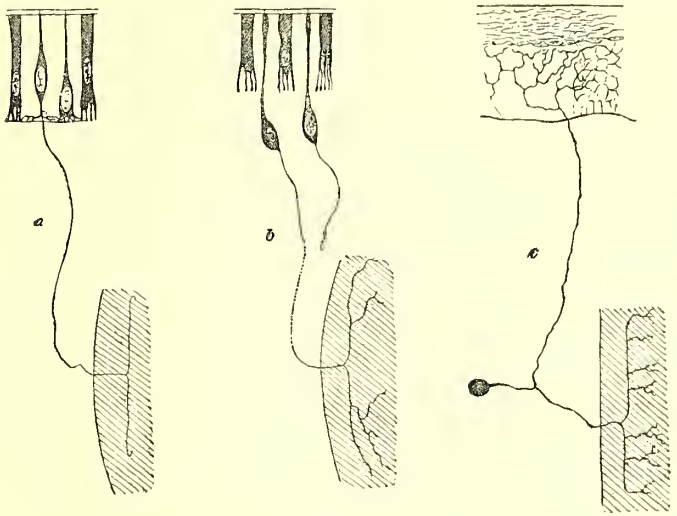


Fig. 64.

a Sinnesepithelien des Regenwurms. b Ebensolche von einer Schnecke. c Spinalganglienzelle eines Wirbeltieres — ein Fortsatz, der sensible Nerv, geht zur Haut, ein zweiter als Wurzel in das Zentralorgan hinein. — In allen drei Zeichnungen ist das Zentralorgan schraffiert. Nach Retzius.

gewisse Facetten an den Gelenken der Hüfte, des Knies und des Fusses, welche ihnen das Hocken am Boden möglich machen, und diese Eigentümlichkeiten vererben sich (AW_3. 54).

Vielfach wird noch geglaubt, es sei auf der Erdoberfläche ein bestimmter engbegrenzter „Schöpfungsmittelpunkt“ für jede Artengruppe nachzuweisen, und von diesem Punkt aus habe eine Wanderung der entstandenen Arten angefangen (EH_1. 95). Nach unseren Entwicklungen hat aber das Leben in ganz gleicher Weise an vielen verschiedenen Stellen der Erdoberfläche beginnen können. Dass dagegen Wanderungen von Arten vorgekommen sind und immer wieder vorkommen, ist selbstverständlich. Infolge solcher Wanderungen ändern sich die Arten,

worauf Darwin und sodann besonders Mor. Wagner hingewiesen haben (EH_1. 96). Bei dem dadurch oder in anderer Weise notwendig gewordenen Arbeitswechsel gestalten sich die ganzen Individuen um (EH. 271 [271]). Durch entsprechende Veränderung des Wasserstandes werden Wasser- in Landbewohner umgewandelt. Dabei wurde die Schwimmblase des Fisches zur Lunge (EH_1. 264). Es verdankt vielleicht der Aal der Luftatmung durch seine Schwimmblase seine Fähigkeit, lange Zeit auf dem Lande sich aufhalten zu können. Die Schwimmblase fehlt aber oft sehr guten Schwimmern, zb. dem Hai (CC. 661, 676).

In der Phylogenie spielen eine besondere Rolle die rudimentären oder verkümmerten Organe (EH. 282 [282]), wie sie zahlreich beobachtet werden können, so zb. rudimentäre Milchdrüsen (EH. 286 [286]), fusslange rudimentäre Hinterbeine der Wale, welche ganz im Rumpfe versteckt bleiben (AW_3. 7), rudimentäre Flügel des Kiwi in Neuseeland (AW_7. 2), rudimentäre Ovarien der Bienenarbeiterinnen, bei denen wichtige Teile ganz fehlen (AW_2. 29). Man hat beim Olm und bei dem blinden Fisch der Kentuckyhöhle ein kleines unvollkommenes und zum Sehen nicht mehr brauchbares Auge unter der Haut nachgewiesen (AW_7. 6). Die Cöcilien oder Blindwühlen besitzen zwar ein Gehörbläschen, aber der zugehörige Hörnerv ist verkümmert (AW_7. 7). Bei Nachtschmetterlingen findet man unbrauchbare Flügelstummel, bei Eintagsfliegen rudimentäre Kiefer (AW_7. 28). Beim Menschen werden das Schwänzchen des Embryo, die Muskeln der Ohrmuschel, die Zirbel, die Hypophyse, wie wir schon früher erwähnt haben, als rudimentäre Organe bezeichnet. Manche Forscher glauben, die rudimentären Organe seien in physiologischer Beziehung völlig wertlos und unnütz (EH_1. 837).

Allerdings fällt die phyletische Entwicklung nicht immer zum Vorteil der bt. Art aus. Die letzten Stufen der Entwicklung vor dem Aussterben einer Art sind unter Umständen Verschlechterungen (LD. 394), sonst würde eben diese nicht aussterben. Verschlechterungen sind jedenfalls die langen gekrümmten Zähne der säbelzähnigen Tiger gewesen (LD. 395). Bei gewissen Hirscharten hat sich das Geweih im Lauf der phyletischen Entwicklung viel komplizierter gestaltet, als es der Art zum Vorteil gereichte (LD. 396); denn die Vierundzwanzigender früherer

Epochen haben sich als nicht besonders lebensfähig erwiesen. Auch die Mammutzähne sind übermässig stark gebogen. Solche Bildungen werden aus der Tendenz erklärt, in gleicher Weise weiter zu variieren (LD. 400).

Durch den Kampf ums Dasein unter den Individuen entstehen nach Darwin die Vervollkommnungen vermöge des Selektionsprinzips. Werden zwei Blumenstöcke in einen Topf gepflanzt, so muss schliesslich der eine von beiden, welcher sich die Nahrung weniger gut zu verschaffen vermag, zu Grunde gehen, unter sonst gleichen Lebensbedingungen für beide Pflanzen. Der vollkommener entwickelte Blumenstock bleibt Sieger. Werden Wälder angepflanzt aus dicht aneinandergereihten Tannen, Buchen, Eichen usf., so verkümmern immer die schwächeren Individuen mehr und mehr; zuletzt bleibt der aus kräftigen Pflanzen, aus kräftigen Bäumen bestehende Wald übrig. Die Art verbessert sich also von selbst, durch den Kampf unter den gleichen Individuen, und es entbrennt dieser Kampf um so heftiger, je gleichartiger die Individuen sind (EH. 250 [250]). Wäre immer genügend Nahrung da, so wäre kein solcher Kampf nötig. Eine ungeheure Ausbreitung einer einzigen Art würde erfolgen, wenn ausserdem auch keine anderen Feinde da wären, welche die junge Nachkommenschaft immer wieder zu zerstören bestrebt wären. Dann aber wäre kein Grund zur Vervollkommnung der Art vorhanden. Man hat ein drastisches Beispiel für die ungeheure Vermehrung einer einzigen Art gegeben, wenn genügende Nahrung vorhanden wäre und wenn keine Feinde der bt. Art existierten. Nimmt man nämlich an, von einem Störweibchen entwickle sich nur eine Million Eier zu neuen Weibchen, also nur ein Bruchteil der abgegebenen Eier, und ginge nun die Fortpflanzung und die Entwicklung der neuen Weibchen in demselben Verhältnis weiter, so würde schon die dritte Generation auf der Erdoberfläche keinen Platz mehr finden; die vierte Generation aber würde bereits eine Portion Caviar entwickeln, grösser als das Volumen der Erde (MV. 191).

Vom Kampf ums Dasein unter gleichartigen Individuen zeugen auch die Korallenriffe. Die Polypen entwickeln sich nur an der Oberfläche oder nahe der Oberfläche des Riffs, weil sie hier leicht Nahrung erhalten. Polypen dagegen, die in inneren Lagen entfernt von der Riffoberfläche entstanden sind, sterben

ab, weil das Meerwasser seiner Nahrung schon durch die oberflächlich entwickelten gleichartigen Tiere beraubt worden ist. Von den abgestorbenen Polypen bleibt das Kalkgerüst zurück, und das Korallenriff wächst, es wird grösser und grösser. Zur Erklärung der Ringbildung, welche bei Koralleninseln so häufig angetroffen wird, hat Darwin angenommen, eine Insel J (Fig. 65) im Meere sei nach und nach tiefer eingesunken (A), sie sei unter der Meeresoberfläche verschwunden (B), und der

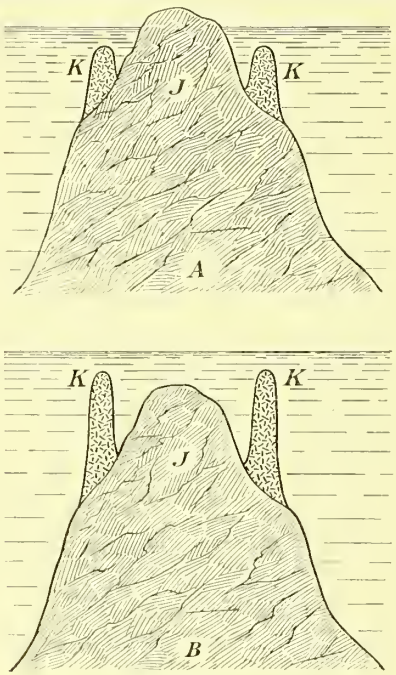


Fig. 65.

Korallenring KK, welcher sich um die Insel angelagert habe, sei zuletzt allein übrig geblieben wegen seines Wachstums gegen die Meeresoberfläche hin (HC. 168). Das fortwährende Einsinken des Meeresbodens ist in der That möglich, es ist da und dort wirklich beobachtet worden. Indessen ist wohl die Annahme von Darwin nicht unbedingt erforderlich, dass Korallenriffe schon von Anfang an als Ringe sich bilden, um einen vom Meeresgrunde sich erhebenden Bergkegel herum. Vielmehr ist es denkbar, dass das ringförmige Korallenriff auch unter anderen Um-

ständen entstehe, nur infolge des Kampfes ums Dasein, im Lauf sehr grosser Zeiträume, weil die lebenden Korallentiere bis nahe an die Meeresoberfläche sich erheben. Auf ebenem Meeres-

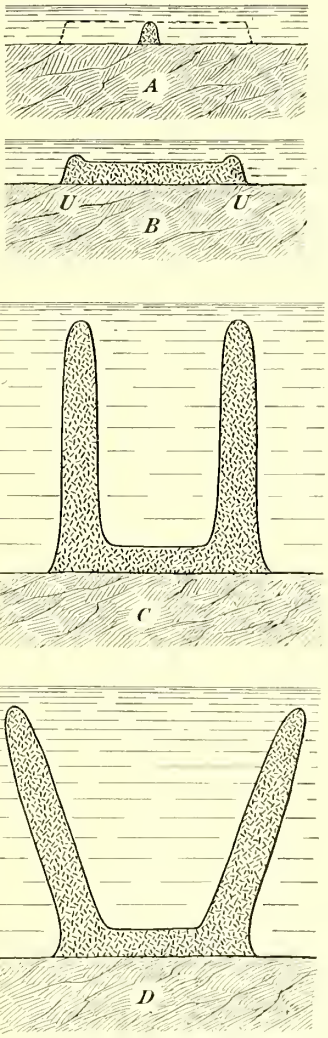


Fig. 66.

boden an einer seichten Stelle (A) (Fig. 66) möge sich nämlich ein korallenbildender Polyp anlagern. Derselbe vermehre sich, etwa durch Knospung. Es entsteht ein Polypenstaat, welcher ein

Korallenriff erzeugt. Das Korallenriff wird grösser und grösser, und unter normalen Verhältnissen wird ein kreisrundes, stets sich erweiterndes tafelartiges Riff (B) zu stande kommen. Der Durchmesser des Riffs wird immer grösser, weil die am Kreisumfang U U befindlichen Tiere aus dem umgebenden Meerwasser sich leicht Nahrung verschaffen können, während die im Inneren der Kreisscheibe des Riffs befindlichen Tiere in dieser Beziehung im Nachteil sind. Denn das Riff reicht nahezu an die Meeresoberfläche heran und schneidet namentlich bei Meeresstille den innen befindlichen Tieren selber die weitere Nahrungszufuhr mehr oder weniger ab. Senkt sich nun der Meeresboden an der bt. Stelle langsam, so können doch nur die am Rande des tafelförmigen Riffs lebenden Tiere leicht sich Nahrung beschaffen, zahlreich sich fortpflanzen und also zur Ansammlung von Kalkmassen merklich beitragen. Das Korallenriff erhält daher die Form eines Hohlcylinders (C) oder eines Hohlkegels (D) (Fig. 66), je nachdem die vorhandene Nahrung reichlich oder spärlich, das Einsinken des Meeresbodens ein rasches oder ein langsames ist.

DIE

ENTSTEHUNG DES LEBENS

AUS MECHANISCHEN GRUNDLAGEN ENTWICKELT

VON

PROF. DR. LUDWIG ZEHNDER,
PRIVATDOZENT AN DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN.

DRITTER TEIL.

SEELENLEBEN. VÖLKER UND STAATEN.

MIT 9 ABBILDUNGEN IM TEXT.

TÜBINGEN UND LEIPZIG
VERLAG VON J. C. B. MOHR (PAUL SIEBECK)
1901.

Das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen behält sich die Verlagshandlung vor.

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Inhalt.

Seite

1. Kapitel. **Seelenleben** 1

Definitionen 1
Embryonales Nervensystem 4
Sympathisches Nervensystem 5
Entstehung nervöser Zentralleitungszellen 6
Differenzierung der nervösen Zentralleitungszellen . . . 9
Nervöse Nebenzentren 10
Das Ich 13
Ergänzung des sympathischen Nervensystems 13

A. Unbewusste Empfindungen 15

Wärme- und Kälteempfindungen 15
Trockenheits- und Feuchtigkeitsempfindungen 17
Tastempfindungen 18
Lichtempfindungen 19
Schallempfindungen 22
Geruchsempfindungen 23
Geschmacksempfindungen 24
Bau des nervösen Hauptzentrums 25
Verlauf der neugebildeten nervösen Zellen 28
Weiterentwicklung des Tastsinns 29
Wirkungen kombinierter Tastempfindungen 31
Associationsbahnen und Associationszellen für die Tastempfindungen 35
Erinnerungsbild 38
Unterschiedsempfindlichkeit 38
Teilung und Verdopplung der Associationszelle 41
Verschiedenartige Associationsbahnen und Associationszellen 42
Ichempfindung durch Betastung 44
Associationszelle für die Lichtempfindung 46

Seite

Kombination von Tast- und von Lichtempfindungen . . 47
Ichempfindung durch das Gesicht 48
Raumunterscheidung 49
Binokulares Sehen 50
Associationsbahnen zwischen den radial angeordneten Sehzellen 52

B. Bewusste Empfindungen 53
Gesichtsinn 53
Tastsinn 54
Kombination des Gesicht- und des Tastsinns 55
Kombination des Gesicht- und des Gehörsinns 58
Empfindungen musikalischer Klänge 61
Empfindungen von Geräuschen 64
Sprache 66
Schrift 67
Kombination des Gesicht- und des Geschmacksinns . . 69
Kombination des Gesicht- und des Geruchsinns . . . 69
Systeme aus vielen Associationszellen 70
Zeitunterscheidung 71
Gestalt der Associationszellen 75
a) Gleichzeitige Empfindungen 75
b) Ungleichzeitige Empfindungen 76
c) Kombinierte Empfindungen 77
Ichempfindung 78

C. Gefühle. Handlungen 80
Unlustgefühl 82
Lustgefühl 83
Reflexbewegung 84
Schmerzstillende Handlung 85
Zusammenhang der sensiblen und der motorischen Nerven 87
Verschiedenartige Reizbahnen 88
Entgegengesetzt verlaufende Reizbahnen 91
Energieumwandlungen 93
Entwicklung zweckmässiger Reizbahnen 94
Abstufungen von Lust und Unlust 96
Spezielle Handlungen 98
a) Schliessen der Augenlider bei zu hellem Licht . 99
b) Abwenden des Blicks von grellen Farben . . . 100
c) Schliessen der Augenlider bei starker Annäherung von Fremdkörpern 101
d) Kompliziertere Handlungen bei starker Annäherung von Fremdkörpern 102
e) Hinwenden des Blicks auf bewegte Gegenstände . 104
f) Herumschweifen des Blicks durch Ermüdung . . 106
g) Bewegungen verursacht durch zu starken Schall . 107

Seite

h) Wirkungen von Dissonanzen 108
i) Wirkungen zu starker Gerüche 108
k) Wirkungen zu starker Geschmäcke 109
l) Wirkungen schmerzender Berührungen 109
m) Sekretionen 110
n) Schreiweinen 111
o) Aufnehmen der Nahrung 112
Bewusstwerden der Gefühle 114
Bewusstwerden der Handlungen 114

D. Erziehungseinflüsse 116
Differenzierung des Schreiens 116
Lallen und erste Sprechübung 116
Lächeln 118
Unterscheidung von Personen 120
Unterscheidung von Sachen, von Handlungen 123
Bildung von Abstraktionen 125
Bildung von Sammelnamen 127

E. Bewusstsein 129
Selbstbewusstsein 129
Sympathisches Nervensystem und Bewusstseinsnervensystem 131
Beziehungen zwischen beiden Nervensystemen 132
Bedeutung beider Nervensysteme 134

F. Wille 135
Schlaf 136
Träume 139
Ursachen der Träume 147
Erwachen 148
Erste Willenshandlung 150
Unbewusster und bewusster Wille 152
Spezielle Willenshandlungen 154
Willkür 158
Freiheit des Willens 162
Aufmerksamkeit 163
Hypnotismus 164

G. Höhere seelische Vorgänge 165
Gedächtnis 165
a) Auswendiglernen des Einmaleins 165
b) Auswendiglernen von Gedichten 168
c) Stärkung des Gedächtnisses 170
Logischdenken 172
Wichtigkeit der ersten Erziehung 173
Verantwortlichkeit 174

Seite

H. Niederes Seelenleben 177
Tierseele 177
Zellseele 178
Monerenseele 181
Molekelseele 182
Atomseele 183
Physikalische Unterscheidung 183
Instinkte 184
Trennung des unorganischen und der organischen Reiche 185

J. *Litteratur 186

2. Kapitel. **Völker und Staaten** 216
Kampf um die Nahrung 216
Familien 217
Völker 218
Staaten 219
Menschenstaaten 219
Entwicklung der Menschenstaaten 221
Zukunftsstaat 222
Staatsbetrieb 224
Steuerwesen 226
Staatsvermögen 227
Rechte und Pflichten der Beamten 228
Erziehung 232
Arbeitswechsel 234
Vereine und Genossenschaften 237
Vervollkommnung des Staates 238
Zukunftsstaat und moderner Staat 240
Schluss 244

Abkürzungen im Text:

bt. = betreffend; bz. = beziehungsweise; usf. = und so fort; sg. = sogenannt; zb. = zum Beispiel; S. = Seite; vgl. = vergleiche; I., II. = Entstehung des Lebens, I., II. Teil.

1. Kapitel.

Seelenleben.

Definitionen.

Von der Ueberzeugung ausgehend, dass manche höhere Tiere ein Seelenleben haben müssen, dass dieses sich nur quantitativ von dem Seelenleben der Menschen unterscheidet, haben manche biologische Forscher, wie E. Haeckel, M. Verworn und andere geschlossen, dass alle, auch die niedersten Tiere ein Seelenleben besitzen, nur ein entsprechend weniger ausgebildetes. Die Konsequenz von dieser Anschauung schien die Annahme zu sein, dass jede Zelle, jede Molekel, jedes Atom eine eigene Seele besitze[1]). Von den Atomen zu den Molekeln, von diesen zu den aus ihnen zusammengesetzten Substanzen, von den Organoiden zu den Zellen, zu den Organen, zu den Individuen würde dann die Seele weiter und weiter sich entwickeln, bis zu der höchstentwickelten Seele des Menschen. Davon, was eine Atomseele, eine Zellseele bedeutet, haben wir indessen keine Vorstellung, und das Kausalitätsbedürfnis, das den Anstoss giebt, zu ergründen, wie denn die Seele aus einfachen mechanischen Vorgängen entstehe, ist durch diese lückenlose Aneinanderreihung der Seelenthätigkeiten von den Atomen bis zu den Menschen herauf nichts weniger als befriedigt, weil wir eben nicht wissen, was denn die Atomseele sein soll. Die in dieser Weise versuchte Erklärung der Seele führt zwar zu einer Definition, aber zu keiner wirklichen Erklärung.

[1]) E. Haeckel, Die Welträthsel, Bonn 1899, S. 134, 259; M. Verworn, Die Protisten, Jena 1889, S. 10.

Eine solche Definition der Seele scheint nun aber dem Sprachgebrauch sich nicht ganz anzuschliessen. Hätte in der genannten Weise jedes Organoid, jede Zelle und jedes Organ eine Seele, so müsste auch der Same, das Ei eine Seele besitzen, und während der Entwicklung des Embryo würde sich ein reiches Seelenleben entfalten. Wir müssten uns vorstellen, dass in einem Embryo sich die vielfältigsten seelischen Vorgänge abspielen. Dem Sprachgebrauch entspricht aber vielmehr die Vorstellung, dass das Seelenleben erst mit dem Selbständigwerden des Embryo, mit seiner Geburt beginne, und dieser Vorstellung wollen wir uns anschliessen. Die andere oben erwähnte Vorstellung setzt, wie es scheint, einfach Seelenleben mit dem gleich, was wir in unseren bisherigen Entwicklungen als nervöse, als reizleitende Vorgänge aufgefasst haben. Lassen wir aber in der bis dahin üblichen Weise die Seele eines lebenden Individuums erst mit seiner Geburt beginnen, so brauchen wir nicht schon den Atomen, den Molekeln selber eine Seele zuzuschreiben. Auch diejenigen Zellen, die nur mit anderen Zellen zu Zellenstaaten vereinigt bestehen können, besitzen demnach noch kein selbständiges Seelenleben. Wie aber die Unterschiede zwischen der organischen und der unorganischen Welt um so mehr verschwinden, je tiefer wir in die feinsten mechanischen Vorgänge einzudringen vermögen, so erscheint auch die Grenze verschwommen, welche die mit einer Seele begabten von den seelenlosen Individuen trennt. Denn immer wieder finden wir auf beiden Seiten Individuen, die der Grenze so nahe stehen, dass wir nicht ohne weiteres zu sagen im stande sind, ob sie der organischen oder der unorganischen Welt angehören, ob sie mit einer Seele begabt oder ob sie seelenlos sind.

Es sind zb. Eier und Spermatozoen in gewisser Weise selbständige Individuen, welche weiter leben, bei passender Nahrung sich entwickeln, welche ohne dieselbe absterben müssen. Die Spermatozoen insbesondere haben wegen ihrer lebhaften Bewegungen viel Aehnlichkeit mit selbständig lebenden kleinsten Wesen, mit gewissen Protisten. Sie scheinen sich nach freiem Willen zu bewegen, und da sie unter Umständen wochenlang am Leben zu bleiben vermögen, so sollte man denken, sie könnten gewisse Eindrücke in sich aufnehmen, die ihnen etwa die Aufsuchung ihrer Nahrung während dieser Zeit ermöglichen oder erleich-

tern. Indessen sind wohl die Bewegungen der Spermatozoen nur auf einen ganz bestimmten chemischen Reiz zurückzuführen. Das Spermatozoon geht dem am stärksten auf dasselbe wirkenden Reiz entgegen. Es sucht wahrscheinlich nur die eine Nahrung auf, welche es zum Weiterleben nötig hat, die vom zugehörigen Ei ausgehende ganz bestimmte Nahrung, welche es wittert. Hat die Vereinigung des Spermatozoon mit dem Ei wirklich stattgefunden, so sind damit diese beiden bisher selbständigen Individuen als solche verschwunden, und es gelangt ein neues einheitliches Individuum zur Entwicklung. In diesem beginnt nach unserer Vorstellung das Seelenleben in dem Augenblick, in welchem es den Einflüssen der Aussenwelt ausgesetzt wird, in welchem es mit einer mehr oder weniger grossen Selbständigkeit seine Nahrung sich zu verschaffen oder dieselbe wenigstens in sein Inneres einzuführen hat.

Stellen wir uns zur Definition des Seelenlebens auf den letztgenannten Standpunkt, so können wir in der That im Zweifel sein, ob wir dem Spermatozoon nicht doch ein entsprechend geringes Seelenleben zu-, ob wir dem Ei aber ein solches absprechen müssen. Wir wissen wenigstens nicht, inwiefern die eine oder die andere von diesen Zellen mit einer gewissen Selbständigkeit ihre Nahrung sich zu verschaffen sucht, etwa mit derjenigen Selbständigkeit, mit welcher viele niedere Protisten, Infusorien, Bakterien auf den Nahrungserwerb ausgehen. Doch hat es ja vorläufig auch keinen Wert, zur Abgrenzung des bei den Individuen vorkommenden Seelenlebens eine scharfe Grenze ziehen zu wollen. Wir dürfen vielmehr zufrieden sein, wenn wir nur einigermassen Einblick zu erhalten im stande sind in die ungemein komplizierten mechanischen Vorgänge, die sich uns in ihrer höchsten Entwicklung als Seelenleben zu erkennen geben.

Trennen wir die seelischen von den allgemeineren nervösen Vorgängen ab, sprechen wir erst den in ihrer Entwicklung zu einem gewissen Abschluss gelangten und bereits zu selbständigem Leben erwachten Individuen ein Seelenleben zu, so haben wir nunmehr diejenigen nervösen Vorgänge zu untersuchen, die mit dem selbständigen Leben beginnen. Wir wollen zu ergründen versuchen, wie das Seelenleben *entsteht*. Bei unseren Entwicklungen stützen wir uns auf die seelischen Vorgänge im

Menschen von seiner Geburt an, weil uns das Seelenleben des Menschen am besten bekannt ist. Unsere Ergebnisse lassen sich nachher ohne Schwierigkeiten übertragen auf das Seelenleben der Tiere, das selbstverständlich auf einer viel tieferen Stufe der Entwicklung stehen geblieben ist.

Embryonales Nervensystem.

Während der Entwicklung des Embryo entstehen alle Substanzen, alle Organe desselben, es entsteht schliesslich der ganze bis zu einem gewissen Grad vollständig ausgebildete menschliche Organismus, und tritt das Kind in die Welt ein, so stehen normalerweise alle seine Organe zu einander in derjenigen ganz bestimmten Korrelation, in welcher sie richtig zusammenarbeiten. Es beginnt also das neue fortan selbständig sich gestaltende Leben.

Schon von der ersten Entwicklung der befruchteten Eizelle an hat die nervöse Substanz derselben die Zentralleitung für die weitere Entwicklung übernommen (II, S. 197). Alles Wachstum des Eies erfolgt unter dieser Zentralleitung so, dass die notwendige Korrelation der Teile untereinander fortwährend gewahrt bleibt. Es entstehen die Organe, und zugleich die zu ihnen gehörenden Nerven, die zum nervösen Zentrum führen. Es sind dies einerseits Nerven, welche Reize von den Organen nach dem Zentrum hin übertragen, andererseits Nerven, welche von der Zentralleitung aus in Thätigkeit gesetzt werden, und welche jene Organe beeinflussen, reizen, wenn das nervöse Zentrum selber von einem anderen Organ einen Reiz erhalten hat und diesen nunmehr übermittelt. Es entstehen Nerven, die direkt von einem zum anderen Organ verlaufen, mit Umgehung des nervösen Zentrums, wenn jenen beiden Organen eine ganz besonders innige Korrelation zu einander zukommt. Aus einzelnen Nerven entstehen durch Teilung und Vermehrung ganze Nervenstämme. Ganglien werden erkennbar. Ein ganzes Nervensystem bildet sich aus. Soll die Korrelation der Teile, der Organe zu einander im embryonalen Leben erhalten bleiben, so muss dieses Nervensystem der Ernährungsart während des Entwicklungszeitraumes vollständig sich angepasst haben.

Bei der Geburt tritt aber ein grösserer oder geringerer Teil

dieses embryonalen Nervensystems ausser Funktion, weil die Ernährung von nun an eine total andere wird. Daher muss auch derjenige Teil des Nervensystems, welcher die neue Ernährungsweise beherrscht und in Korrelation mit den Funktionen der übrigen Organe erhält, zur Zeit der Geburt schon vollständig entwickelt sein, soll der Embryo lebensfähig sein. Demzufolge müssen aber von diesem Augenblick an die die frühere Ernährungsweise beherrschenden Nerven verkümmern, weil sie unnütz werden.

Sympathisches Nervensystem.

Sobald der erste Schrei des neugeborenen Kindes ertönt, die Lunge zum erstenmal ihre Nahrung, den Sauerstoff dem Körper zuführt, tritt derjenige Teil jenes embryonalen Nervensystems in Thätigkeit, welcher die Lungenfunktionen beherrscht und in Korrelation erhält mit den Funktionen der übrigen Organe. Sobald der Magen seine erste Nahrung aufnimmt, treten die entsprechenden Nerven in Thätigkeit, welche für die Erhaltung der richtigen Korrelation des Magens mit den übrigen Organen unbedingt nötig sind. Es funktionieren sämtliche übrigen Organe in entsprechend abgeänderter Weise, von dem Augenblicke an, in dem Lunge und Magen ihre Funktionen besorgen. Bei allen Organen treten die zugehörigen Nerven in Thätigkeit und es beginnt eben das neue selbständige Leben des Individuums, geleitet von einem teilweise geänderten, aber während der embryonalen Entwicklung bereits vorgebildeten Nervensystem.

Durch das lebhaftere Arbeiten der erst mit dem Beginn des selbständigen Lebens des Menschen zur normalen Funktion gelangenden Nerven assimilieren die entsprechenden Nervenzellen besonders kräftig (dritter biologischer Fundamentalsatz, I, S. 139). Diese Zellen vermehren sich stark und es entwickelt sich der bt. Teil des Nervensystems entsprechend schnell, nach Massgabe der Thätigkeit der Organe, zu denen jene gehören. Also vervollständigt sich das nervöse System, das nunmehr nach der Geburt des Individuums die Korrelation der Organe untereinander erhält, ungefähr ebenso rasch, wie die bt. neu zur Thätigkeit gelangenden Organe selber. Dieses ganze nervöse System, das Nervensystem also, welches von der Geburt an die Korrelation

aller Teile des Organismus, aller Organe desselben aufrecht erhält, welches selbstthätig in Wirksamkeit tritt und entsprechende Reize ausübt, wenn irgend ein Organ seine Funktionen nicht ordnungsmässig erfüllt, so lange, bis solches wieder der Fall ist. wollen wir das „sympathische Nervensystem“ nennen. Dasselbe besteht unseren bisherigen Entwicklungen zufolge aus einem nervösen Zentrum und aus zahlreichen Nervenfäden, die in das Zentrum zusammenlaufen. Es sind dies teils Nerven, welche Reize von der Peripherie zum Zentrum, teils Nerven, welche Reize vom Zentrum nach der Peripherie leiten und es befinden sich ausserdem in jenem sympathischen Nervensystem noch zahlreiche Nerven, welche mit Umgehung des Zentrums von Organ zu Organ verlaufen.

Nach unserer Definition soll das Seelenleben in dem Augenblick beginnen, in dem das neugeborene Individuum selber sein selbständiges Leben beginnt. Bis zu diesem Zeitpunkt hat im wesentlichen das embryonale sympathische Nervensystem alle Vorgänge im Embryo geleitet und beherrscht. Wäre es möglich, nach der Geburt das Kind in genau gleicher Weise zu ernähren wie vor derselben, und könnten wir dasselbe in jeder Beziehung in einer analogen Umgebung halten, würden auch keinerlei Eindrücke der Aussenwelt auf dasselbe einwirken, so müsste sich das Kind in gleicher Weise wie der Embryo weiter entwickeln. Ein Seelenleben wäre bei einem solchen Kinde nicht zu erwarten. Tritt aber der Embryo an Luft und Licht heraus. so kommen, wie schon erwähnt, andere Teile des Nervensystems zur Geltung als bisher. Ein etwas abgeändertes sympathisches Nervensystem übernimmt die Zentralleitung für die weitere Entwicklung. Den Zeitpunkt, in welchem diese neuen Teile des Nervensystems in die Entwicklung eingreifen, fassen wir ganz speziell als den Zeitpunkt des Beginns seelischer Thätigkeit auf.

Entstehung nervöser Zentralleitungszellen.

Um die Vorstellungen, auf denen wir weiter bauen müssen, übersichtlicher zu gestalten, wollen wir bestimmtere Annahmen über die Einrichtung des oben definierten sympathischen Nervensystems machen, obwohl dessen Zusammenhang im einzelnen empirisch noch nicht genügend aufgeklärt ist. Wir stellen uns

nämlich vor, dieses Nervensystem habe ungefähr die im folgenden beschriebene Beschaffenheit. Von der nervösen Zentralstelle aus gehen Nerven nach jeder Stelle der Peripherie des Körpers hin. Dieselben verzweigen sich an der Peripherie, splittern sich auf in zahlreiche feinste Fibrillen, die sich in die verschiedenen Zellen verteilen, so dass in jede Körperzelle eine oder mehrere Fibrillen mindestens eines Nervs hineinreichen, wie wir dies früher beschrieben haben (II, S. 198). Im menschlichen Körper sind viele gleichartige Zellen jeweilen zu Organen zusammengefasst. Diese Zellen sind mit dem gleichen Nerv verbunden, oder es führen mehrere gleichartige Nerven zu denselben, und weil das Organ als Ganzes, als eine besondere Einheit funktionieren muss, so besitzt es selber auch eine eigene nervöse Zentralstelle, welche die richtige Korrelation aller seiner Zellen untereinander aufrecht erhält.

Solche Nebenzentralstellen sind im Lauf der phyletischen Entwicklung entstanden, infolge der engeren Beziehungen, die zwischen den verschiedenen Zellenarten jedes Organes bestehen. Stellen wir uns zb. zwei verschiedenartige Zellen a und b vor (Fig. 1), welche zu einem und demselben Organ gehören, und welche ganz besonders regelmässig zusammenarbeiten, so dass immer, wenn etwa a gereizt wird, der Reiz zwar auf die höhere Zentralleitungszelle A übertragen, von dieser aber sofort an die andere Zelle b übermittelt wird. Während der embryonalen Entwicklung standen sich die beiden Zellen a und b um so näher, je weniger weit diese Entwicklung vorgeschritten war. Sie entstanden sogar ursprünglich aus einer und derselben Zelle. Nur durch weiter und weiter fortschreitende Differenzierung sind schliesslich aus dieser einen Zelle die ganz verschiedenen Zellenarten a und b des Organs hervorgegangen. Daraus müssen wir schliessen, dass auch diejenigen nervösen Fibrillen, welche in die beiden Zellen a und b hineinreichen, ursprünglich zu einer und

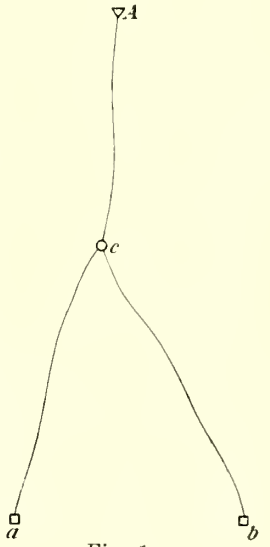


Fig. 1.

derselben nervösen Zelle gehörten, deren Kern etwa bei c gelegen haben mag. Arbeiteten während der Teilung und Vermehrung der beiden Zellenarten a und b die zugehörigen nervösen Fibrillen der Zelle c sehr stark, so assimilierten diese letzteren kräftig. Dasselbe war der Fall für den Kern dieser Zelle, in oder bei welchem sich deren nervöses Zentrum selber befindet (I, S. 184). Schliesslich musste die Zelle c in zwei Tochterzellen c_1 c_2 sich spalten, deren beide Kerne aus demselben Mutterkern und deren Fibrillen aus denselben Fibrillen der ursprünglichen Mutterzelle hervorgingen. Beide Kerne der Zellen c_1 und c_2 liegen daher nahe an c. Sie sind einander unmittelbar benachbart und sie bleiben, ihrer Entstehungsart zufolge, durch Protoplasmafortsätze, bz. durch feinste nervöse Fibrillen miteinander verbunden [1]). Ebenso sind die von a nach c_1 bz. c_2, sowie auch die von b nach c_1 bz. c_2 reichenden nervösen Fibrillen einander unmittelbar benachbart.

Nun vermehren sich im Lauf der embryonalen Entwicklung die beiden Zellenarten a und b mehr und mehr. Es entstehen ganze Gruppen von Zellen a_1 a_2 a_3 . . . und solche von Zellen b_1 b_2 b_3 . . . Ihrer Anzahl entsprechend vergrössert sich in geringerem Betrag auch die Zahl der zugehörigen nervösen Zellen c_1 c_2 . . ., deren Kerne so nahe bei c und bei einander liegen bleiben, als es die Raumverhältnisse gestatten. Denn alle diese nervösen Zellen sind gleichfalls aus jener ursprünglichen nervösen Zelle c entstanden, und sie alle hängen noch durch nervöse, etwa von Kern zu Kern reichende Fibrillen miteinander zusammen. Wird eine von diesen nervösen Zellen c_1 c_2 . . . gereizt, beispielsweise durch eine entsprechende Veränderung einer Zelle a_1 a_2 a_3 . . ., so überträgt sie den Reiz nach dem nervösen Zentrum A hin, wie es schon durch die ursprüngliche nervöse Zelle c geschehen ist. Ausserdem aber werden von jener nervösen Zelle, etwa von c_1, alle anderen unmittelbar benachbarten nervösen Zellen c_2 c_3 . . . gereizt, vermöge der Fibrillen, die auf kürzestem Weg ihre Kerne miteinander verbinden. Je fester und inniger die Kerne

---

[1]) Denn bei der Zellteilung (I. S. 183) blieben namentlich die nervösen Fibrillen als Verbindungsfäden von Zelle zu Zelle bestehen, weil sie ganz besonders im stande sind, die für die Zellenstaaten durchaus notwendige Korrelation unter den benachbarten Zellen aufrecht zu erhalten.

der Zellen c_1 c_2 c_3 . . . durch kurze nervöse Fibrillen miteinander verbunden sind, um so mehr arbeitet die ganze Zellengruppe a zusammen, zu der jene nervösen Zellen führen. Um so mehr bildet diese Zellengruppe eine geschlossene Einheit, und dasselbe gilt für die Zellengruppe b. Die zugehörigen Nervenfibrillen a c bz. b c bilden zusammen jeweilen ganze Nervenstränge, deren Fibrillen sich erst in der Zellengruppe a bz. in b mehr und mehr aufsplittern. Als nervöses Zentrum wollen wir aber die Summe der Nervenzellkerne bei c, die etwa als ein Ganglion aufzufassen ist, vorerst nicht bezeichnen, so lange im wesentlichen alle Reize nur von a über c nach A bz. von b über c nach A oder umgekehrt geleitet, mit anderen Worten, so lange sie von der Peripherie nur in das oben erwähnte nervöse Zentrum A oder von diesem nur nach der Peripherie hin übertragen werden.

Differenzierung der nervösen Zentralleitungszellen.

Nun sei aber die Eingangs unserer Betrachtung vorausgesetzte Bedingung erfüllt, dass nämlich die beiden Zellengruppen a und b zu demselben Organ gehören, dass sie ganz besonders innig miteinander verknüpft sind und zusammenarbeiten. Wenn die eine Zellenart a in bestimmter Weise gereizt wird, so werde der Reiz auf kürzestem Wege der anderen Zellenart b übermittelt und nur dieser. Die beiden Zellenarten a und b stehen daher untereinander in innigster Korrelation. Verfolgen wir den Weg genauer, den der Reiz nehmen wird von den Zellen a bis zu den Zellen b, so erkennen wir, dass sich derselbe in den gereizten Fibrillen des Nervenstrangs von a bis c fortpflanzen wird, und dass er sich hier in den Zellkernen c_1 c_2 c_3 . . . teilen muss. Denn in jeder Zelle c wird nun der Reiz einerseits längs entsprechender Fibrillen zum nervösen Zentrum A sich fortpflanzen; dort wird sodann der zentripetale in einen zentrifugalen Reiz umgewandelt, so dass derselbe durch andere Fibrillen, möglicherweise im gleichen Nervenstamm c A, wieder in andere Zellkerne c_m c_n c_o . . . zurückgeleitet wird, um auf dem Wege c b die Zellengruppe b zu reizen. Nun stehen aber jene Zellkerne c_1 c_2 c_3 . . ., wie wir oben gesehen haben, noch durch besondere Protoplasma-Ausläufer, das heisst durch besondere nervöse

Fibrillen mit diesen Zellkernen c_m c_n c_o in Verbindung. Der Reiz wird daher andererseits noch auf diesem direkteren und kürzeren Wege von jenen zu diesen Zellkernen c sich fortpflanzen und dann zu der Zellengruppe b weitergeleitet werden.

Arbeitet nun die Zellengruppe a mit der Zellengruppe b sehr häufig zusammen, so assimilieren die genannten Fibrillenarten a c, c A, A c, c b, sowie die zwischen den Zellkernen c_1 c_2 c_3 . . . und c_m c_n c_o . . . verlaufenden nervösen Fibrillen entsprechend kräftig. Sie vergrössern sich, spalten sich. Sie vermehren sich also, zugleich mit den zugehörigen Zellkernen, so dass neue nervöse Zellen entstehen. Von den genannten Zellkernen wird es solche geben, welche zentripetalleitende Fibrillen von a nach c_1 c_2 c_3 . . . und von c_1 c_2 c_3 . . . nach c_m c_n c_o . . ., ausserdem aber zentrifugalleitende Fibrillen von c_m c_n c_o . . . nach b abspalten, solche Zellkerne nämlich, welche selber durch Abspaltung von einem der Zellkerne c_m c_n c_o . . . entstanden sind. Andere neu entstehende Zellkerne spalten zentripetalleitende Fibrillen von a nach c_1 c_2 c_3 . . ., aber zentrifugalleitende Fibrillen von c_1 c_2 c_3 . . . nach c_m c_n c_o . . . und von c_m c_n c_o . . . nach b ab, dann nämlich, wenn sie selber von Zellkernen c_1 c_2 c_3 . . . sich abgespalten haben. Die beiden soeben beschriebenen Zellenarten werden auch noch Fibrillen vom Nervenstamm c A abspalten und zwar sowohl zentripetal- als zentrifugalleitende. Denn die Nervenzellen c, von denen sie sich abspalten, besitzen gleichfalls derartige Fibrillen. Indessen würden jene letzteren beiden Fibrillenarten bald verkümmern, wenn die Reize durch die neu gebildeten Zellen immer nur von den Zellen a nach den Zellen b übertragen werden sollten, weil sie dann ungünstiger arbeiten würden, als die kürzeren durch die bt. Zellkerne selber hindurchgehenden nervösen Verbindungen. Jedenfalls entwickeln schliesslich die genannten Zellen ihre Fibrillen a c und c b kräftiger als ihre Fibrillen c A.

Nervöse Nebenzentren.

Die in solcher Weise entstandenen Nervenzellen vermehren sich und sie besorgen nunmehr auf dem kürzesten Wege die Reizung von b durch a. In c entsteht infolge der beschriebenen Vorgänge ein sekundäres nervöses Zentrum. Die Fibrillen c A

jener Zellen könnten vorerst ganz unnütz erscheinen. Wenn aber für die Folge die Zellengruppen a und b nicht ganz normal zusammenarbeiten, so wird durch die vorhandenen Fibrillen c A ein entsprechender Reiz auch von c auf A übertragen und das nervöse Hauptzentrum in A erhält dadurch Kenntnis von der Anomalie im Zusammenarbeiten der Zellengruppen a und b.

Die bt. Nervenzellkerne c lagern sich also zu einem Ganglion zusammen, das nun als nervöse Zentralstelle für die einzelnen Teile des Organs funktioniert. Dies ist namentlich der Fall, wenn es nicht nur zwei verschiedene Zellenarten a und b sind, welche zu einander in Korrelation stehen, welche regelmässig miteinander arbeiten, welche eigene kürzere nervöse Verbindungswege zwischeneinander ausgebildet haben, sondern mehrere derselben. Das Individuum, in welchem diese neuen nervösen Zellenarten entstanden sind, in welchem sie zu einer eigenen sekundären nervösen Zentralstelle sich gruppiert haben, erringt einen Vorteil im Kampf ums Dasein über andere Individuen derselben Art, aber ohne diese neue zweckmässige Einrichtung. Jenes pflanzt sich reichlicher fort als diese. Schliesslich hat die ganze Art die neuen Zellenarten erworben und diese werden normalerweise weiter vererbt.

Wie alle anderen Körperzellen, so besitzen unseren Entwicklungen zufolge auch die hier besprochenen nervösen Zellen noch eine nervöse Verbindung nach der nervösen Zentralstelle des ganzen Individuums hin. Wenn also das betrachtete Organ seine eigene nervöse Zentralstelle besitzt, von dieser aus geleitet wird, so dass das ganze Organ für sich in richtiger Weise funktioniert, so steht doch diese sekundäre nervöse Zentralstelle selber wieder unter der Oberleitung der nervösen Hauptzentralstelle des ganzen Individuums.

Ist die Korrelation verschiedener Organe untereinander eine besonders innige, so entstehen durch phyletische Entwicklung in ganz analoger Weise, wie wir soeben beschrieben haben, Nervenleitungen, die unmittelbar von Organ zu Organ verlaufen. Es entstehen nervöse Nebenzentralstellen, die ganz speziell diese Korrelation unter den verschiedenen Organen aufrecht zu erhalten haben. Aber auch diese Nebenzentralstellen sind durch einzelne Nervenfibrillen, durch ganze Nerven oder sogar durch Nervenstränge, welche sich infolge des Arbeitens der bezüglichen ner-

vösen Fibrillen abgespalten haben, mit der nervösen Hauptzentralstelle verbunden, so dass von dieser die Oberleitung über jene Organverbindungen ausgeht. In solcher Weise stehen etwa Herz und Lunge in innigerer Korrelation zu einander. Es steht der Magen in inniger Korrelation zu vielen Drüsen, die teils im Magen die Magensäfte, teils im Dünndarm entsprechende Sekrete absondern. In analoger Weise würden zahlreiche andere Korrelationen unter den verschiedensten Organen des menschlichen Körpers sich nennen lassen.

Das bis dahin betrachtete Nervensystem, welches wir als das sympathische Nervensystem bezeichnet haben und welches dem Menschen bei seiner Geburt mit auf den Lebensweg gegeben wird, ist offenbar ein überaus vielfach verzweigtes System, wie aus einer kurzen Rekapitulation unserer Ergebnisse hervorgehen wird. Von allen Zellen des ganzen Körpers gehen Nervenfibrillen bz. ganze Nerven zur nervösen Zentralstelle hin, welche die Oberleitung der Entwicklung des Individuums übernommen hat. Wenn nur einzelne Nervenfibrillen aus jeder Körperzelle austreten, so bleiben im allgemeinen mehrere derselben, welche benachbarten Körperzellen angehören, zu einem gemeinsamen Nerv vereinigt, der die Leitung für die bt. Zellengruppe besorgt. Diese Nerven leiten Reize teils zentrifugal, vom nervösen Zentrum zu jenen Zellen hin, teils zentripetal, von den letzteren zum ersteren hin. Grössere ganz gleichartige Zellengruppen, die aneinander angelagert sind, müssen durch mehrere gleichartige Nerven versorgt werden. Solche gleichartige Nerven bilden zusammen einen Nervenstamm, der durch Wachstum einer Nervenzelle und durch Teilung derselben in viele gleichartige Nervenzellen entstanden ist. Benachbarte Zellen ungleicher Art, die miteinander eine innige Korrelation eingehen, sind unmittelbar durch Nerven miteinander verbunden. Die Zellkerne dieser letzteren haben sich zu nervösen Nebenzentralstellen zusammengelagert, weil sie einer einzigen gleichartigen nervösen Zelle ihren Ursprung verdanken. Solche nervöse Nebenzentralstellen sind ihrerseits wieder durch eigene in ihnen entspringende Nervenfasern bz. Nerven an die nervöse Hauptzentralstelle angeschlossen. Ganze Organe haben in dieser Weise ihre nervösen Nebenzentralstellen, eine oder mehrere, welche letztere aber nicht völlig selbständig sind, welche vielmehr mit der nervösen

Hauptzentralstelle in steter Verbindung bleiben. Zum mindesten behält diese Hauptzentralstelle die Oberleitung über die Funktionen der Nebenzentralstellen. Ganz analog besitzen diejenigen verschiedenen Organe, die eine besonders innige Korrelation untereinander unterhalten, gemeinsame nervöse Nebenzentralen. Auch diese Nebenzentralen stehen aber in entsprechender nervöser Verbindung mit der nervösen Hauptzentralstelle, die über sie noch die Oberleitung behält.

Das Ich.

Die Gesamtzahl aller den Körper zusammensetzenden Zellen repräsentiert für das bt. Individuum das Ich. Weil jede Körperzelle mittelbar oder unmittelbar an die nervöse Hauptzentralstelle angeschlossen ist, übertragen sich Reize, die in irgend einer Weise, etwa von der Aussenwelt her, auf eine solche Zelle ausgeübt worden sind, von derselben auf die Hauptzentralstelle. Diese Stelle ist dasjenige Zentrum, in welchem alle Vorgänge, die das Ich betreffen, gemeldet werden. Sie ist der Mittelpunkt, in welchem, wie wir später sehen werden, in allererster Linie das Ichgefühl, das Bewusstsein zu stande kommen wird, ein bestimmtes Individuum zu sein, ein selbständiges Individuum, das zu der Aussenwelt in einem gewissen Gegensatz steht, das von dieser durch Reizwirkungen beeinflusst wird.

Ergänzung des sympathischen Nervensystems.

Wir verfolgen nun im einzelnen die Wirkungen solcher Reize, die der Reihe nach von der Aussenwelt auf das Individuum, auf den kleinen Menschen übertragen werden, nachdem derselbe zur Welt gebracht ist. Das Kind öffnet den Mund infolge eines Reizes, den etwa innere Teile durch Vermittlung einer nervösen Zentralstelle ausgeübt haben, weil sie zu ihrer Ernährung des Sauerstoffs der Luft bedürfen. Es lässt Luft in die Lunge einströmen, stösst sie, wenn sie verbraucht ist, wieder aus. Es schreit unter Umständen, infolge der starken Reize, die während der ersten Ausdehnung des Brustkastens nach der Geburt durch den entsprechenden Sauerstoffmangel entstehen, bis die Lungenthätigkeit in vollem Gange ist. Jener

Reiz wurde auf die nervöse Zentralstelle übertragen und von dieser zentrifugal weitergeleitet zu den Muskeln, welche den Mund öffnen, sowie zu den Muskeln, welche die Lunge erweitern und welche daher das Einsaugen der Luft bewirken. Auf die Zentralstelle selber wurde ein zentripetal einlaufender Reiz ausgeübt, von einzelnen oder von vielen Zellen, von ganzen Organen aus, die des Sauerstoffs bedurften. Denn es zerfallen die Zellen wieder, nachdem sie völlig entwickelt sind, wenn ihnen nicht genügende Nahrung zugeführt wird, und zu dieser Nahrung gehört auch der Sauerstoff. Erhält daher eine Zelle zu wenig Sauerstoff, um etwa die in ihr von der Keimesentwicklung her angehäuften Reservestoffe, die sie zu ihrer weiteren Lebensthätigkeit bedarf, in ihre eigenen Zellsubstanzen umzuwandeln, so übt sie einen entsprechenden Reiz auf bestimmte in ihr entspringende Nervenfibrillen aus. Diese leiten den Reiz weiter, unmittelbar oder auf geeigneten Umwegen mittelbar zur nervösen Hauptzentralstelle hin. Von dieser gelangt also der Reiz zu jenen Muskeln, die das Eintreten der Luft in die Lunge ermöglichen bz. bewirken. Die solchen Zwecken dienenden reizleitenden Nerven gehören unserem sympathischen Nervensystem an.

Mit dem Eintreten der Luft in die Lunge werden nun die Verhältnisse für das Kind ganz andere. Die Luft dringt durch ein weitverzweigtes Röhrensystem in die kleinen Lungenbläschen, in die Lungenalveolen ein, deren Membranen aus Fistellen (überaus feine molekulare Röhrchen, vgl. I, S. 50) aufgebaut und überaus dünn sind. Durch diese Fistellen hindurch dringt der Sauerstoff der Luft in das Innere der bt. Zellen ein, Kohlensäure wird dafür aussen abgegeben. Diese verlässt mit dem übrig gebliebenen Stickstoff der Luft als verbrauchte Luft die Lunge bei der nächsten Lungenkontraktion. Durch das Hinzutreten des Sauerstoffs zu den Lungenalveolen werden an deren Membranen chemische Umsetzungen eingeleitet (vgl. I, S. 72). Entsprechende Reize gehen von dem Lungeninneren nach dem nervösen Hauptzentrum. Die Nerven, die solche neu auftretende Reize leiten, arbeiten nunmehr viel energischer als bis dahin. Sie wachsen, teilen und vermehren sich. Es verstärken sich diejenigen nervösen Verbindungen der Lunge mit dem nervösen Hauptzentrum, ferner diejenigen ihrer nervösen Ver-

bindungen mit anderen Organen des Körpers, welche für das Zusammenarbeiten aller Organe des Individuums notwendig sind, damit die richtige Korrelation unter diesen Organen aufrecht erhalten werde. Es ergänzt sich also das sympathische Nervensystem in entsprechender Weise.

Eine analoge Ergänzung des sympathischen Nervensystems muss erfolgen, wenn der Magen seine erste Nahrung erhält, wenn die verschiedenen Sekretionsorgane und die Exkretionsorgane insgesamt ihre Thätigkeit beginnen. Das sympathische Nervensystem ergänzt und erweitert sich so lange, bis sämtliche von nun an funktionierende Organe des Körpers zu richtiger Korrelation untereinander gelangt sind, worauf wir schon früher hingewiesen haben (S. 5). Aber auch mit dem Heranwachsen des Kindes zum Erwachsenen entwickelt sich sein sympathisches Nervensystem immer noch weiter, weil jedes Wachsen eines Organs eine entsprechende Veränderung aller anderen Organe des Körpers nach sich ziehen muss, soll die richtige Korrelation aller dieser Organe untereinander immerfort erhalten bleiben.

A. Unbewusste Empfindungen.

Es entstehen aber noch ganz andere Nervenzellen, die nicht zum sympathischen Nervensystem gehören, wie wir sogleich zeigen werden. Sie entstehen infolge der nach der Geburt beginnenden unregelmässigen Einwirkungen der Aussenwelt auf das neugeborene Kind.

Wärme- und Kälteempfindungen.

Beim Eintreten der Luft in den Mund werden die Zellen der Mundschleimhaut gereizt. Vor der Geburt des Kindes besassen sie eine gleichmässige mittlere Körpertemperatur. Nun streicht kühlere Luft an ihnen vorbei. Die Zellen der Mundschleimhaut nehmen den entsprechenden durch jene geringere Wärme hervorgerufenen Reiz auf. Die zugehörigen Nerven übertragen den Reiz auf das nächstliegende nervöse Zentrum und von diesem wird derselbe bis zum nervösen Hauptzentrum fortgeleitet. Weil jener Reiz immer sich wiederholt, bei jedem Atemzuge, stärker oder schwächer, je nach der tieferen oder

höheren Temperatur der eingesogenen Luft, weil daher die entsprechenden zentripetal verlaufenden Nervenzellen des sympathischen Nervensystems kräftig arbeiten müssen, entstehen aus ihnen durch Wachstum und Teilung neue parallel verlaufende Nervenzellen. Diese neuen Nervenzellen können nicht mehr zum sympathischen Nervensystem gerechnet werden, obwohl sie demselben unmittelbar benachbart sind und mit ihm mehrfach zusammenhängen, weil sie nämlich zur Korrelation der Teile untereinander ganz und gar entbehrlich wären. Sie dienen vielmehr nur dazu, den Kältereiz, den gewisse Schleimhautzellen des Mundes hie und da aufnehmen, weiter zu leiten, nach dem nervösen Hauptzentrum hin, nach der nervösen Zentralstelle des ganzen Ich. Je kälter die eingeatmete Luft ist, um so stärker wirkt der entsprechende Kältereiz. Um so lebhafter arbeiten die bt. nervösen Zellen und um so stärker vermehren sich dieselben durch Assimilation, durch Wachstum und durch Teilung. Ein gewisses Optimum des Kältereizes ist am wirksamsten für die Uebermittlung eines solchen Reizes und für die Entstehung entsprechender neuer Nervenzellen, wie wir bei der Behandlung der Reize überhaupt früher schon gefunden haben (I, S. 162, II, S. 14).

Von sämtlichen Zellen der Mundschleimhaut sind selbstverständlich einige mehr, andere weniger geeignet, solche Kältereize aufzunehmen und an die zugehörigen reizleitenden Nerven weiter zu geben. Die Zellen der Mundschleimhaut differenzieren sich dementsprechend untereinander und es entstehen neben Zellen, welche anderen Funktionen dienen, solche, welche insbesondere den Kältereiz aufnehmen und welche denselben an die besonderen nicht zum sympathischen Nervensystem gehörenden zentripetal leitenden Nerven abgeben. Durch die letzteren wird also der Kältereiz mehr oder weniger unmittelbar zum nervösen Hauptzentrum geleitet, dort auf das Ich des bt. Individuums übertragen. Es entsteht für das Ich eine unbewusste Empfindung der Kälte an der Mundschleimhaut. Analog entsteht durch warm eingegebene Speisen eine entsprechende Wärmeempfindung.

Trockenheits- und Feuchtigkeitsempfindungen.

Die eingeatmete Luft ist mehr oder weniger trocken. Somit erhalten die Zellen der Mundschleimhaut unmittelbar nach der Geburt des Kindes beim Einatmen der Luft jedenfalls einen Reiz der Trockenheit, weil sie bisher wenn nicht ausschliesslich mit Flüssigkeit, so doch ganz sicher mit gesättigten Dämpfen von Flüssigkeiten in Berührung standen. Es differenzieren sich demnach Zellen, die den Reiz der Trockenheit aufnehmen, von den übrigen Zellen der Mundschleimhaut. Von jenen leiten zugehörige nervöse Zellen, die infolge wiederholter Trockenheitsreize analog wie oben durch Wachstum und Teilung entsprechender Zellen des sympathischen Nervensystems entstanden sind, den Trockenheitsreiz zum nervösen Hauptzentrum, und dort wird derselbe auf das Ich des bt. Individuums übertragen. Auch diese neuen nervösen Zellen waren bis dahin für die Korrelation aller Teile des gesamten Organismus nicht nötig; sie sind auch von jetzt an nicht nötig für jene Korrelation. Dieselben können also nicht dem sympathischen Nervensystem angehören. Sie übertragen vielmehr selbständig ihre Reize auf das Ich. Sie lassen für das Ich die unbewusste Trockenheitsempfindung an der Mundschleimhaut entstehen. Durch in den Mund eingeführte Flüssigkeiten entstehen gegenteilige Reize und demnach Feuchtigkeitsempfindungen an der Mundschleimhaut.

Analog verhält es sich mit der Nasenschleimhaut, an der eingeatmete Luft gleichfalls vorbeistreicht. Die entsprechenden unbewussten Kälte-, Wärme-, Trockenheits-, Feuchtigkeitsempfindungen werden von ihr durch neu entstandene Nerven auf das Ich übertragen. Ganz Aehnliches gilt überhaupt für die gesamte Körperoberfläche des neugeborenen Kindes. Vor der Geburt waren alle Oberhautzellen einer gleichmässigen Temperatur, einer gleichmässigen Feuchtigkeit ausgesetzt. Mit dem Beginn des selbständigen Lebens des Kindes ändern sich aber alle diese Verhältnisse. An der ganzen inneren und äusseren Körperoberfläche differenzieren sich mehr oder weniger besondere Zellen für die Wärme-, für die Kälte-, für die Trockenheits- und für die Feuchtigkeitsreize. Es entstehen die entsprechenden reizleitenden Zellen von jenen Oberhautzellen nach dem nervösen Hauptzentrum hin, und von nahezu allen inneren

und äusseren Oberflächenstellen des Körpers werden nunmehr Wärme- bz. Kältereize, sowie Trockenheits- bz. Feuchtigkeitsreize nach dem nervösen Hauptzentrum hingeleitet, in diesem also auf das Ich übertragen. Die bt. neu entstandenen reizleitenden Nerven lassen für das Ich die unbewussten Empfindungen der Wärme oder Kälte, der Trockenheit oder Feuchtigkeit zu stande kommen, an denjenigen Stellen, von denen sie ausgehen.

Tastempfindungen.

Der menschliche Körper, insbesondere aber die äussere Oberfläche desselben erhält noch mancherlei andere Reize, auf welche die kleinsten Körperteile, die Zellen mehr oder weniger reagieren. Stösst ein fremder Gegenstand auf irgend eine Zelle des Körpers, so übt er einen mechanischen Reiz auf dieselbe aus, der durch den entsprechenden Nerv bz. durch die zugehörigen Nervenfibrillen zum nervösen Hauptzentrum geleitet wird. Für die notwendige Korrelation der Teile untereinander ist dieser Reiz bisher nicht nötig gewesen und er wird für die Folge nicht nötig sein. Er bringt demnach erst, wenn er zu wirken beginnt, einen gewissen Nerv des sympathischen Nervensystems zu stärkerem Funktionieren, als es ohne ihn der Fall gewesen wäre. Dieser Nerv assimiliert, wächst; er teilt sich, und es entsteht, wenn derselbe Reiz oft genug wiederholt wird, ein neuer parallel verlaufender Nerv, welcher nicht mehr zum sympathischen Nervensystem gehört, welcher aber mit demselben doch mehr oder weniger innig verbunden bleibt. Zellen der inneren oder äusseren Körperoberfläche, die häufig mit fremden Gegenständen in solcher Weise zur Berührung gebracht werden, differenzieren sich dementsprechend. Einzelne von ihnen übernehmen die mechanischen Reize besser als alle anderen. Sie werden zu den spezifischen Tastzellen. Die an diese letzteren anschliessenden reizleitenden Nerven des sympathischen Nervensystems lassen diejenigen neuen Nerven aus sich hervorgehen, welche für die Folge die unbewussten Tastempfindungen von jenen getroffenen Stellen auf das Ich übertragen. Tastzellen, vermutlich auch Zellen, welche Wärme- bz. Kältereize, und solche, welche Trockenheits- bz. Feuchtigkeitsreize aufnehmen, besitzt der Mensch an seiner ganzen inneren und äusseren Körperoberfläche, so-

weit dieselbe mit Fremdkörpern, mit irgendwelchen fremden Substanzen normalerweise zur Berührung kommen kann. Er besitzt ausserdem die zugehörigen reizleitenden Zellen, die die bt. Reize auf das nervöse Hauptzentrum übertragen und dadurch im Ich die entsprechenden unbewussten Empfindungen entstehen lassen.

Lichtempfindungen.

Die Zellen des Körpers reagieren auf Lichtreize. Vor der Geburt des Kindes waren alle seine Zellen einem gleichmässigen, aber äusserst schwachen Licht ausgesetzt, dem Licht nämlich, welches auch den menschlichen Körper mit grösserer oder geringerer Leichtigkeit sogar in dicken Schichten zu durchdringen vermag (vgl. I, S. 36). Nach der Geburt erhält namentlich die äussere Körperoberfläche des Kindes neue stärkere Lichtreize und diese wirken durch Vermittlung geeigneter reizleitender Nerven auf das nervöse Hauptzentrum ein, ganz ähnlich wie die soeben behandelten Tastreize. Nahezu jede Stelle der Körperoberfläche nimmt solche Lichtreize auf. Der zugehörige Nerv überträgt dieselben mehr oder weniger auf das Ich, ruft in demselben eine entsprechende unbewusste Lichtempfindung hervor.

In ganz besonderem Masse sind gewisse Zellen des Auges befähigt, Lichtreize aufzunehmen. Die lichtempfindlichen Teile vieler solcher Zellen haben Stäbchenform. Diese Zellen haben durch Differenzierung die besondere Fähigkeit erlangt, Helligkeitsreize aufzunehmen. Andere Zellen besitzen lichtempfindliche Teile in Zapfenform und sie sind es, die vorzugsweise die Farbenreize aufnehmen.

Nach den Theorien von H. von Helmholtz, von Hering und anderen wäre es denkbar, dass die Zapfen nur auf drei oder vier Grundfarben reagierten, aus denen sich nach dem Mischungsprinzip alle übrigen Farben und auch alle feinsten Nuancen derselben erhalten liessen. Indessen ist wohl eine solche Annahme von physiologischem Standpunkt aus nicht notwendig. Aber namentlich von psychologischem Standpunkt aus scheint man sich mit derselben nicht recht befreunden zu können. Dagegen müssen wir doch ohne Zweifel so viel zugestehen, dass nur für eine begrenzte Zahl von Grundfarben, vielleicht für weniger als etwa fünfzig derselben, besondere Wahrnehmungsorganoide

vorhanden sein werden; denn für alle unterscheidbaren Farbennuancen, deren vielleicht Tausende sein mögen, werden wir sicher nicht an jedem Zapfen eigene Wahrnehmungsorganoide besitzen. Andererseits ist es allerdings wahrscheinlich, dass die Zapfen bz. die Stäbchen nicht die wahren Endorganoide der bt. Nerven sind, dass von ihnen vielmehr noch unsichtbar feine Fibrillen (vgl. I, S. 81) nach verschiedenen Seiten ausstrahlen [1]). Davon mag es herrühren, dass teils die Zapfen für Helligkeitsreize, teils die Stäbchen für Farbenreize nicht ganz unempfindlich sind.

In der Netzhautgrube, an der Stelle des deutlichsten Sehens, haben sich insbesondere Zellen mit Zapfen ausgebildet, an den übrigen Stellen der Netzhaut sind die Zellen mit Stäbchen vorherrschend. Von den Zellen mit Zapfen gehen reizleitende Nervenfibrillen zu entsprechenden Nerven und mit diesen zum nervösen Hauptzentrum, von den Zellen mit Stäbchen desgleichen. Bezüglich der Farbenreizleitung halten wir es für wahrscheinlich, dass mit jedem Zapfen eine der Grundfarbenzahl entsprechende Zahl verschiedenartiger Einzelfibrillen verbunden ist, die jene verschiedenen Farbenreize gesondert zum nervösen Hauptzentrum leiten. Es werden in diesem Fall die zu jedem Zapfen gehörigen für die Reizleitung aneinanderschliessenden nervösen Zellen für jede Grundfarbe eine besondere vom aufnahmsfähigen Endorganoid bis zum nervösen Zentralorgan reichende genügend isolierte Fibrille besitzen. Allerdings könnte andernfalls jede Nervenfaser alle Farbenreize zusammen weiterleiten, etwa wie ein durchsichtiger Körper alle Farben hindurchlässt. Aber an den Aufsplitterungsstellen des Neurits der bt. reizleitenden Zelle wären dann wohl die Fibrillen genügend differenziert, so dass sie in ihrem weiteren Verlauf im wesentlichen nur noch je eine Grundfarbe aufnehmen und weiterleiten könnten.

Wird das Auge des Neugeborenen zum erstenmal geöffnet,

---

[1]) Beim Sichtbarmachen von Nervenzellen durch chemische Methoden werden ihre Fibrillen in der Regel nicht nur chemisch, sondern auch physikalisch, allen ihren Lineardimensionen nach verändert. Die feinsten bis dahin eben noch im Bereich der Sichtbarkeit liegenden Fibrillen werden also entweder unsichtbar, weil noch dünner (vgl. I, S. 81), oder sie kontrahieren sich der Länge nach, werden dabei dicker, scheinen aber in diesem Fall benachbarte Zellen nur noch zu berühren, nicht mehr in ihr Inneres einzudringen.

so wirken auf jedes vom Licht getroffene Stäbchen stärkere oder schwächere Reize ein. Diese Reize werden durch die zugehörigen reizleitenden Fibrillen auf das nervöse Hauptzentrum übertragen. Die Fibrillen und die zugehörigen Nerven arbeiten daher in verstärktem Masse. Die Nervenzellen assimilieren, wachsen, teilen sich. Es entstehen neue Nervenzellen, welche die entsprechenden Reize von den Stäbchen aufnehmen und auf das nervöse Hauptzentrum übertragen, Zellen, welche nicht mehr dem sympathischen Nervensystem angehören. Durch sie wird also von jedem Stäbchen aus eine unbewusste Licht-, eine unbewusste Helligkeitsempfindung auf das Ich hervorgebracht. Ein Stäbchen nach dem anderen wird von Lichtreizen getroffen und entwickelt seinen besonderen reizleitenden, eine Helligkeitsempfindung übertragenden Nerv oder doch wenigstens einzelne Fibrillen eines solchen Nervs.

Ebenso werden beim ersten Oeffnen des Auges die Zapfen vom Licht getroffen, gereizt, und infolge der Reizleitung zum nervösen Hauptzentrum entstehen neue nicht mehr zum sympathischen Nervensystem gehörende reizleitende Nerven. Diese übertragen, wie oben angenommen wurde, durch verschiedene Fibrillen, die sich unter dem Einfluss der auftreffenden Lichtstrahlen untereinander differenzieren, die den verschiedenen Grundfarben entsprechenden Farbenreize auf das nervöse Hauptzentrum. Durch solche in geeigneter Weise übertragene Farbenreize entstehen im Ich die unbewussten Farbenempfindungen.

Fremde Gegenstände, welche vermöge unseres optischen Apparates, des Auges, das durch die Differenzierung zahlreicher Zellen entstanden ist, auf seiner Netzhaut abgebildet werden, reizen dadurch Stäbchen und Zapfen in ganz bestimmter Weise, nämlich den Bildern jener Gegenstände entsprechend. Sie rufen daher im Ich eine ganz bestimmte, in der Regel eine sowohl Farben als auch Helligkeiten enthaltende unbewusste Lichtempfindung hervor. Für Gegenstände, die in der Netzhautgrube abgebildet werden, überwiegt verhältnismässig die Farbenempfindung, weil hier die Zapfen besonders zahlreich vertreten sind; für Gegenstände dagegen, die ausserhalb der Netzhautgrube abgebildet werden, überwiegt mehr die Helligkeitsempfindung, weil gegen den Rand der Netzhaut hin immer weniger Zapfen, aber verhältnismässig mehr Stäbchen vorhanden sind.

Schallempfindungen.

Akustische Reize werden durch mehr oder weniger periodische mechanische Schwingungen ausgeübt. Alle Körperzellen, besonders aber diejenigen der Körperoberfläche, nehmen solche Reize auf. Sie entwickeln bei genügend häufiger Wiederholung jener Reize ihre neuen reizleitenden Fibrillen oder ganze Nervenzellen, welche, ganz analog den bisher behandelten Fällen, auf das nervöse Hauptzentrum die Schallreize, also auf das Ich die unbewusste Schallempfindung übertragen. Gewisse Zellen des menschlichen Körpers haben aber durch Differenzierung die ganz besondere Fähigkeit erlangt, akustische Reize besser als alle anderen aufzunehmen. Sie haben sich mit zahlreichen anderen Zellen zu einem Organ vereinigt, zum Ohr, das ausserdem für zweckmässige Schallzuleitung eingerichtet ist. Tritt nun der erste Schall in das Ohr ein, so differenzieren sich im Ohrinneren die zahlreichen namentlich schallaufnehmenden Zellen. Eine Zelle kann besser als alle übrigen einen hohen Ton, eine andere einen Ton mittlerer Höhe, eine dritte einen tiefen Ton aufnehmen usf. Für jeden im Schall dem Ohr zugeleiteten Ton ist eine bestimmte von jenen Zellen die aufnahmsfähigste. Sie nimmt, je öfter dieser Ton ins Ohrinnere gelangt, um so leichter und sicherer gerade diesen Ton auf. Durch Differenzierung der tonaufnehmenden Zellen untereinander passt sie sich gerade diesem Ton an. Jedem einzelnen Ton passt sich eine ganz bestimmte Zelle am besten an. Wegen der Resonanzfähigkeit ist aber diejenige Zelle, welche einem bestimmten Ton nur annähernd sich angepasst hat, schon im stande, durch den bt. Ton mehr oder weniger angeregt zu werden. Daher ist zur Aufnahmsfähigkeit unseres Ohrs für unendlich viele verschiedene Schwingungsdauern doch nicht das Vorhandensein von unendlich vielen verschiedenen tonaufnehmenden Zellen nötig.

Die durch den Schall bz. durch Töne gereizten tonaufnehmenden Zellen stehen mit dem nervösen Hauptzentrum in reizleitender Verbindung. Die bt. reizleitenden Fibrillen arbeiten infolge der stärkeren Reizleitung besonders stark, sie assimilieren. Die entsprechenden reizleitenden Nerven wachsen, teilen sich. Es entstehen neue reizleitende Nerven, durch Abspaltung vom sympathischen Nervensystem. Für alle tonaufnehmenden Zellen

entstehen solche besondere Nervenzellen oder doch mindestens eigene Nervenfibrillen, welche die akustischen Reize auf das nervöse Hauptzentrum übertragen, welche dadurch im Ich die bt. unbewussten Schallempfindungen hervorbringen.

Bei unseren früheren Entwicklungen haben wir alle soeben behandelten und ebenso die übrigen Reize, zb. auch die Reize durch elektrische Ströme, in der Hauptsache als chemische Reize aufgefasst (I, S. 163). Es kann wenigstens kaum bezweifelt werden, dass alle Reize, die einigermassen wirksam von den Körperzellen auf das nervöse Hauptzentrum übertragen werden, da oder dort, namentlich aber in den reizleitenden Nervenfibrillen auf Abspaltungen oder Anlagerungen von Atomen oder auf Atomumlagerungen zurückgeführt werden müssen. Solche molekulare Vorgänge sind aber chemischer Natur. In der That sind alle Körperzellen im stande, chemische Reize aufzunehmen und weiterzuleiten. Zellen, die in solcher Weise gereizt worden sind, befinden sich in einem gewissen Erregungszustand; ihre Molekeln haben vermöge jener Veränderungen unter ihren Atomen einen Zustand lebhafterer Bewegung angenommen, sie besitzen lebhaftere Eigenschwingungen. Die erregten reizleitenden nervösen Zellen sind es, welche die chemischen Reize auf das nervöse Hauptzentrum übertragen, welche nach Massgabe der Einwirkung äusserer Reize auf verschiedene Stellen des Körpers bz. der Körperoberfläche die unbewussten Empfindungen chemischer Einwirkungen auf den Körper im Ich hervorbringen.

Geruchsempfindungen.

Gewisse Zellen der inneren Körperoberfläche sind ganz besonders geeignet, chemische Reize aufzunehmen. In der Nasenschleimhaut, an der die eingeatmeten Gase vorzugsweise vorbeistreichen, befinden sich Zellen, welche gereizt werden können, wenn Gase oder Dämpfe von anderer Beschaffenheit durch die Nase in die Lunge eindringen, als es bei normaler Zusammensetzung der Luft der Fall ist. Je verschiedenartiger die Natur der von Zeit zu Zeit eindringenden Gase oder Dämpfe ist, um so mehr neue reizaufnehmende Zellen entstehen durch Differenzierung der bt. Nasenschleimhautzellen. Für jeden wesentlich anderen chemischen Reiz entstehen andere reizaufnehmende Zel-

len, innert gewisser Grenzen (vgl. S. 22). Diese Zellen veranlassen vermöge ihrer Funktionen, die mit dem ersten Eindringen der Luft in die Nasenhöhle beginnen, ihre reizleitenden zum nervösen Hauptzentrum führenden Fibrillen bz. Nervenzellen zu lebhafterem Arbeiten, zu verstärkter Assimilation. Es entstehen besondere Nervenzellen, die sich von den Nervenzellen des sympathischen Nervensystems abspalten, nachher aber diesem nicht mehr angehören. Solche Nervenzellen übertragen nunmehr die bt. chemischen Reize auf das nervöse Hauptzentrum. Sie bringen im Ich die unbewussten Geruchsempfindungen hervor. Infolge der Differenzierung der Zellen untereinander werden für eine grössere oder geringere Zahl von verschiedenen Geruchsarten verschiedenartige Geruchszellen entstehen, welche die besonderen Reize aufnehmen und durch entsprechend verschiedene reizleitende Nerven die bt. Empfindungen zur Folge haben.

Geschmacksempfindungen.

Andere chemische Reize werden durch flüssige und durch feste Körper bewirkt, und es ist für die Erhaltung des Individuums von ganz besonderer Wichtigkeit, dass die namentlich aus flüssigen und festen Stoffen bestehenden Nahrungsmittel chemische Reize auf die Körperoberfläche ausüben, noch bevor sie vollständig ins Körperinnere gelangt sind. Zum Teil üben sie schon durch ihren Geruch solche Reize auf die Nasenschleimhaut aus. Ausserdem sind aber durch entsprechende Differenzierung in der Mundschleimhaut Zellen entstanden, die bei der Berührung mit flüssigen oder mit festen Körpern die von diesen hervorgebrachten chemischen Reize leichter aufnehmen, als alle anderen Körperoberflächenzellen. Auch jene Zellen haben sich in der Weise verschieden entwickelt, dass jede von ihnen in der Regel andere merklich verschiedene chemische Reize aufnimmt. Sobald solche Reize beim ersten Einführen von Nahrung in den Mund auf jene Zellen ausgeübt werden, arbeiten und assimilieren auch die die letzteren mit dem nervösen Hauptzentrum verbindenden Nervenfibrillen und Nervenzellen des sympathischen Nervensystems besonders stark. Diese Nervenfibrillen und Nervenzellen wachsen, sie teilen sich. Es entstehen neue Nervenzellen, welche die entsprechenden Reize auf das nervöse Hauptzentrum über-

tragen, ohne aber selber zum sympathischen Nervensystem zu gehören. Diese Nervenzellen bringen, wenn sie erregt sind, im Ich die unbewussten Geschmacksempfindungen hervor.

Die Differenzierungen der reizaufnehmenden und der reizleitenden Zellen, welche zu den mannigfachen unbewussten Empfindungen des Ich die unmittelbare Veranlassung geben, welche zur Entstehung derselben durchaus nötig sind, kommen zum Teil in den ersten Augenblicken des begonnenen Daseins, zum Teil in den ersten Stunden, in den ersten Tagen desselben zu stande. Die Entwicklung des Individuums schreitet aber mit dem Leben fort. Immer weiter vollziehen sich die Differenzierungen, je mehr Eindrücke die Aussenwelt auf den menschlichen Körper hervorbringt. Während des ganzen Menschenlebens, bis zum Beginn der Nekrobiose, wahrscheinlich sogar noch über diesen Zeitpunkt hinaus und bis zum Tod entstehen neue nervöse Fibrillen, bz. neue nervöse Zellen, vermöge der entsprechenden neu aufgenommenen Eindrücke. Im Kampf ums Dasein, den die nervösen Zellen zu ihrer eigenen Ernährung und Erhaltung miteinander führen, mögen dafür andere nie mehr benutzte nervöse Fibrillen oder ganze Zellen unterliegen und zerfallen, dadurch also unmittelbar den Stoff liefern für die neu entstehenden Fibrillen oder Zellen. Genügend bekannt ist beispielsweise die fortschreitende Entwicklung des Geruchsinns bis zur Geschlechtsreife und darüber hinaus, die Fortentwicklung des Tastsinns bis ins höchste Alter.

Bau des nervösen Hauptzentrums.

Das nervöse Hauptzentrum, von dem wir bis dahin immer gesprochen haben, darf man sich nicht etwa als eine einzelne punktförmige Stelle denken. Bei der Keimesentwicklung ist es im Stadium der ersten Zellteilung die eine von beiden dadurch entstandenen Zellen, die die nervöse Leitung der weiteren Entwicklung an sich reisst. Diese Zelle steht nämlich mit der anderen durch Fibrillen in Verbindung, welche durch deren Zellmembran hindurch gehen und welche in ihr die nervöse Leitung besorgen (II, S. 197.) Bei fortgesetzten Zellteilungen vermehren sich auch diese Fibrillen, und diejenige Zelle, welche in einem bestimmten Teilungsstadium die nervöse Zentralleitung übernimmt, besitzt

nervöse Fibrillen, die in der Ein- oder Mehrzahl, mittelbar oder unmittelbar in jede einzelne andere Zelle hineinreichen.

Sind die Funktionen der Zentralleitungszelle, die die Korrelation der übrigen Zellen untereinander, ihr ordnungsmässiges Zusammenarbeiten und ihre Weiterentwicklung zu besorgen hat, genügend energische, so wächst diese Zelle, weil sie stark arbeitet und assimiliert. Sie teilt sich. Es entstehen zwei Zentralleitungszellen.

Bei weiterer Entwicklung des jungen Keimes entstehen drei, vier Zentralleitungszellen usf. Wie alle anderen Körperzellen, so differenzieren sich aber auch diese Zentralleitungszellen. Die eine von ihnen übernimmt die Aufrechterhaltung der Korrelation in der einen Zellengruppe, die andere diejenige in der anderen Zellengruppe. Eine Zentralleitungszelle besorgt gewisse ganz bestimmte Funktionen der Zentralleitung besser als alle anderen, und sie spezialisiert sich durch passende Differenzierung gerade für diese Funktionen, eine andere Zentralleitungszelle wieder für ganz andere Funktionen. Eine aber von den Zentralleitungszellen ist in Beziehung auf die Haupteigenschaft der zentralen Leitung mächtiger als alle übrigen Zentralleitungszellen, und sie übernimmt demnach die Oberleitung über die gesamte Zentralleitung. Immer weiter schreitet in solcher Weise die Spezialisierung der Zellen mit der Keimesentwicklung fort, und wenn nach Beendigung der letzteren der Mensch geboren wird, so haben sich namentlich seine nervösen Zellen in vielseitigster Weise ausgebreitet, aufgesplittert und vervielfältigt. Denn sie müssen nunmehr alle Körperzellen, die zum Teil sehr grosse Abstände voneinander angenommen haben, miteinander bz. mit dem nervösen Zentralorgan, mit dem Rückenmark und dem Gehirn verbinden. Im Zentralorgan selber befinden sich hauptsächlich nervöse Zellen, nämlich eng zusammengedrängt die Zentralleitungszellen, in sehr grosser Zahl. Jede von diesen ist an ihren Enden in zahlreiche Fibrillen aufgesplittert, weil bei jeder Teilung irgend einer Körperzelle die ihre Entwicklung leitenden Fibrillen der zugehörigen nervösen Zelle in je zwei Fibrillen sich teilen müssen (vgl. II, S. 16, 198). In solcher Weise entsteht daher ein ganzes System von Zentralleitungszellen, räumlich durch ein grösseres Volumen hindurch ausgebreitet, mit reicher Verästelung ihrer Zellenfasern in unzählige

feinste Fibrillen, mit den überaus vielfach verzweigten Telodendrien, wie sie so manchen nervösen Zellen eigentümlich sind.

Die untenstehende Fig. 2 mag ein solches System von Zentralleitungszellen, und zwar ein verhältnismässig noch sehr einfaches, zur Anschauung bringen. In alle Zellen der Zentralleitung reichen nervöse Fibrillen hinein von denjenigen nervösen Zellen, die sich die Oberleitung über die Zentralleitungszellen angeeignet haben. Die Zellen der Oberleitung aber hängen ihrerseits von einer obersten nervösen Zentralzelle ab, welche nervöse

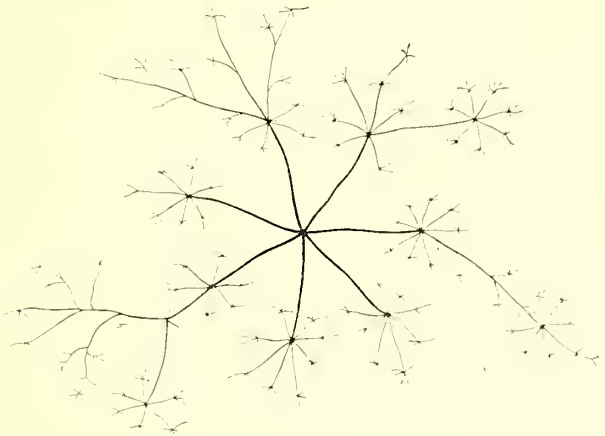


Fig. 2.

Fibrillen in deren Inneres, etwa in deren Zellkörper hineinreichen lässt, und welche dadurch die oberste nervöse Zentralleitung auszuüben im stande ist. Nicht nur diese eine oberste Zelle ist aber als die nervöse Zentralstelle zu betrachten, sondern die Gesamtheit aller Zentralleitungszellen, deren vielleicht bei der Geburt des Menschen schon Tausende in ihm vorhanden sein mögen. Nur die allerwichtigsten Funktionen von nervösen Zellen, wie sie etwa während der Keimesentwicklung oder späterhin bei sehr heftigen Nervenerregungen vorkommen, sind intensiv genug, um die oberste nervöse Zentralleitungszelle selber in starke Erregung zu versetzen. Weniger intensive Funktionen werden nicht weiter bemerkbar sein als etwa noch in den entsprechenden Oberzentralleitungszellen. Noch weniger intensive Funktionen erregen nur die niedersten Zentralleitungszellen in merklicher

Weise. Dies ganze weitverzweigte System von reizleitenden nervösen, von hohen und niederen Zentralleitungszellen hält das Ich zusammen zu einem geschlossenen einheitlichen Ganzen.

Wirkt nun nach der Geburt irgend ein äusserer Reiz auf die Körperzellen ein, wie wir solche Reize weiter oben beschrieben haben (S. 5, 13), so wird durch denselben weiterhin zuerst diejenige nervöse Zelle erregt, die den Reiz von der reizaufnehmenden Zelle bis zum nervösen Zentralorgan, auf eine der niedersten Zentralleitungszellen überträgt. Diese wird dadurch gleichfalls erregt, aber im allgemeinen, bei sonst gleicher Reizleitungsfähigkeit, weniger stark, als jene in erster Linie den Reiz leitende Zelle; denn dieser Zentralleitungszellen werden weniger sein als jener einfacheren reizleitenden Zellen, und demzufolge werden nur einige von den zahlreichen Fibrillen der Zentralleitungszelle in die einfache reizleitende Zelle hineinreichen und durch sie zum Funktionieren gebracht werden können. Die niederste Zentralleitungszelle überträgt ihrerseits den Reiz auf eine höhere Zentralleitungszelle, die dadurch noch weniger stark erregt wird, weil dieser Zellen noch weniger sind, als jener. In analoger Weise geht die Uebertragung weiter bis zu der obersten Zentralleitungszelle, die aber offenbar weniger als alle den Reiz auf sie übertragenden Zentralleitungszellen durch jenen ursprünglichen peripherischen Reiz in Erregung versetzt werden kann (vgl. indessen S. 93).

Verlauf der neugebildeten nervösen Zellen.

Aus dieser Ueberlegung geht nun die Art und Weise hervor, wie sich nach der Geburt jene neuen reizleitenden Zellen durch Abspaltung vom sympathischen Nervensystem entwickeln, die Zellen nämlich, die auf das Ich die oben beschriebenen unbewussten Empfindungen hervorbringen. Am stärksten erregt wird infolge eines äusseren Reizes diejenige nervöse Zelle, die den Reiz in erster Linie von der reizaufnehmenden Zelle auf eine Zentralleitungszelle überträgt. Sie arbeitet infolge jenes Reizes am stärksten, sie assimiliert am meisten. Sie teilt sich daher und lässt die neue reizleitende Zelle entstehen. Die letztere endet mit ihren Fibrillen, ganz ähnlich wie vorher ihre Mutterzelle und wie nunmehr ihre dem sympathischen Nervensystem

noch verbleibende Schwesterzelle, einerseits an der bt. reizaufnehmenden Zelle, andererseits an derselben niedersten Zentralleitungszelle, und durch diese Zentralleitungszelle überträgt sie den aufgenommenen Reiz auf das nervöse Zentralorgan bz. auf das Ich. Wird jene niederste Zentralleitungszelle durch den auf sie übertragenen Reiz gleichfalls genügend stark erregt, so assimiliert auch sie. Es vermehren sich in ihr die Fibrillen. Die ganze Zelle kann sich sogar teilen, so dass eine neue Zentralleitungszelle entsteht, die nunmehr jenen äusseren Reiz unmittelbar auf eine höhere Zentralleitungszelle überträgt. Je nach der Intensität oder nach der Zahl der Wiederholung der äusseren Reize entstehen also Reizleitungsbahnen aus nur einer oder aus mehreren hintereinandergeschalteten nervösen Zellen bestehend, die den Reiz an einer geeigneten Stelle auf das ganze nervöse Zentralorgan übertragen. Diese Uebertragung findet statt auf um so höher stehende Zentralleitungszellen, je stärker und je häufiger die äusseren Reize sind, die übertragen werden müssen. Der örtlichen Verteilung der von solchen Reizen erregten Zentralleitungszellen entsprechend sind auch die beschriebenen nach der Geburt sich entwickelnden Reizleitungsbahnen gestaltet, bestehen dieselben aus nur einer oder aus mehreren gleichsam aneinandergehängten nervösen Zellen. Für ihren Verlauf ist die räumliche Ausbreitung des nervösen Zentralorgans selber massgebend. Solche nervöse Zellen bz. Reizleitungsbahnen werden in der Regel in ganz verschiedener Weise verlaufen, ganz verschiedene Bahnen einschlagen, wenn sie verschiedenartigen äusseren Reizen ihren Ursprung verdanken. Sie werden überdies an ganz verschiedenen Stellen enden, immer jedoch einerseits an reizaufnehmenden Zellen, andererseits aber an Stellen, an denen sie mit dem nervösen Zentralorgan und also auch mit dem bei der Geburt schon entwickelten sympathischen Nervensystem zusammenhängen. Denn auf diesem Wege werden, wie wir weiter oben schon erkannt haben, die unbewussten Empfindungen im Ich hervorgebracht.

Weiterentwicklung des Tastsinns.

Wir wollen von den äusseren Reizen die Tastreize zuerst weiter verfolgen. Jeder Gegenstand, der an irgend einer Stelle mit der Körperoberfläche des neugeborenen Kindes zur Berüh-

rung kommt, bringt dadurch einen Reiz auf sein nervöses Zentralorgan und eine unbewusste Tastempfindung in seinem Ich hervor. Durch die Bewegungen seiner Extremitäten, die anfänglich vermöge der Korrelation der Teile untereinander unwillkürlich ausgeführt und etwa durch innere Reize hervorgerufen werden, wie zum Teil schon vor der Geburt, tastet das Kind mit Händen und Füssen. Es kommt dabei mit diesen oder mit jenen Gegenständen in Berührung. Die Tastempfindung ist im einen Fall eine stärkere, eine härtere, im anderen Fall eine schwächere, eine weichere; sie ist bald eine wärmere, bald eine kältere, oder bald eine Trockenheits-, bald eine Feuchtigkeitsempfindung. Gewisse Gegenstände werden zwei solche Empfindungen gleichzeitig hervorbringen: hart und trocken, weich und feucht, oder drei Empfindungen: weich, warm und feucht, oder hart, warm und trocken usf. In den letzteren Fällen werden gleichzeitig mindestens zwei bz. drei verschiedenartige reizleitende Nerven in Erregung versetzt, die einen stärker, die anderen schwächer, und sie übertragen dementsprechend ihre Reize auf das nervöse Zentralorgan.

Wird eine ganz beliebige Körperstelle von irgend einem Gegenstand berührt, so sprechen wir von einem Tastreiz, der durch diese Berührung auf jene Körperstelle ausgeübt wird. Handelt es sich aber allgemein um das „Betasten", so haben wir kompliziertere Vorgänge vor uns. Selten betasten wir nämlich mit einer ganz beliebigen Körperstelle. Vielmehr sind Hände, Füsse, Mund, Zunge unsere eigentlichen Tastorgane. Kommt ein Gegenstand mit einem solchen Tastorgan in Berührung, so bewegen wir dieses in der Regel an jenem vorbei. Wir bewegen zb. die Hand, die betastenden Finger über den fremden Gegenstand hin. Dabei erhält das Ich aufeinanderfolgende Tastempfindungen, zeitlich voneinander getrennt. Streichen wir zb. über eine gleichmässig beschaffene Fläche hin, so erhalten wir an jeder Stelle derselben eine gleichmässige Tastempfindung, etwa vermittelst der betastenden Fingerspitze. Indessen kommen bei einer solchen Bewegung der Finger noch ganz andere Tastempfindungen zur Geltung. An unseren Gelenken, an den Sehnen, an den Muskeln entspringen sensible Nerven, die wir zu der Klasse der tastreizleitenden Nerven rechnen müssen. Solche Nerven haben sich während der embryonalen Entwicklung gebildet. Sie

gehören, soweit sie bei der Geburt schon vorhanden sind, dem sympathischen Nervensystem an. Nun werden aber die genannten betastenden Körperteile reichlich und oft bewegt, namentlich vom Augenblick der Geburt an. Das kleine Kind bewegt, durch innere oder äussere Reize veranlasst, die Finger, Hände, Arme, Füsse, Beine, es schreit, saugt usf. Jeder dieser Vorgänge hat entsprechende Tastreize im Gefolge. Solche Tastreize sind aber, wenn sie intensiv oder häufig genug auftreten, die Veranlassung zur Abspaltung neuer tastreizleitender Nerven vom ursprünglichen sympathischen Nervensystem, ganz analog, wie dies weiter oben bei anderen Beispielen mehrfach erläutert worden ist. Durch solche von Gelenken, Sehnen oder Muskeln ausgehende sensible Nerven werden daher wieder ganz anders geartete unbewusste Tastempfindungen auf das Ich übertragen.

Wirkungen kombinierter Tastempfindungen.

Wenn nun ein dem Kind überlassener Gegenstand betastet, wenn derselbe zb. mit einer Hand umfasst wird, so gelangen dabei mehrere ganz verschiedene der beschriebenen Tastempfindungen zur Wahrnehmung. Der Gegenstand sei beispielsweise eine Kugel. Die Tastzellen der Handoberfläche, soweit dieselben mit der Kugel in unmittelbare Berührung kommen, können auf das Ich des Kindes die unbewusste Empfindung des Harten oder des Weichen, des Rauhen oder des Glatten, des Warmen oder des Kalten, des Trockenen oder des Feuchten machen usf. Gleichzeitig sind aber Tastempfindungen der Gelenke, der Sehnen und Muskeln vorhanden. Vermittelst der entsprechenden Tastreize werden Ausdehnungen und Massen gemessen. Die Kugel von grösserem Durchmesser bringt andere solche Empfindungen hervor als diejenige von kleinerem Durchmesser, eine harte unelastische Kugel andere als eine weiche elastische. Eine schwere Kugel hat namentlich andere Sehnen- und Muskelempfindungen im Gefolge, als eine leichte Kugel.

Eine bestimmte in die Hand des Kindes gegebene Kugel bringt daher eine ganze Reihe verschiedener Empfindungen in seinem Ich hervor. Wird eine und dieselbe Kugel dem Kind öfters überlassen, gehört sie beispielsweise zu seinem regelmässigen Spielzeug, so hat das Kind jedesmal, wenn es diese Kugel in

gleicher Weise in der Hand hält, die gleichen Empfindungen. Jedesmal arbeiten gleichzeitig die gleichen reizleitenden Nerven, die von den unmittelbar gereizten, das heisst von den reizaufnehmenden Zellen die Reize auf niedere oder höhere Zentralleitungszellen übertragen. Wenn nun diese gleichen Reize immer wieder ausgeübt werden, so arbeiten dabei die entsprechenden reizleitenden Zellen, sie assimilieren, vergrössern sich. Arbeitet eine gewisse Zellengruppe, diejenige nämlich, die den Gesamtbestand aller von jener Kugel gereizten nervösen Zellen ausmacht, immer und immer wieder zusammen, so assimilieren alle diese Zellen gleichzeitig, sie vergrössern sich gleichzeitig. Von ihnen allen muss aber im allgemeinen durch jenen Vorgang der Kugelbetastung eine Zelle stärker erregt werden als alle anderen. Diese Zelle wird zuerst sich so weit vergrössert haben, dass eine Spaltung ihres Zellkörpers in zwei Zellkörper eintritt. Zugleich aber spaltet sich je nach ihrem Erregungsstadium eine grössere oder geringere Zahl derjenigen nervösen Fibrillen, die die bt. Reize weiter leiten, in zwei Fibrillen. Jede von den letzteren wird für die Folge einen aufgenommenen Reiz weiter leiten, zugleich mit demjenigen Zellkörper, mit dem sie nach der Abspaltung verbunden geblieben ist.

Die Fig. 3 soll die behandelten Vorgänge anschaulich machen. Es seien beispielsweise sechs verschiedenartige Tastzellen durch den betasteten Gegenstand gereizt worden, die in der Figur durch sechs kleine Quadrate dargestellt sein mögen. Es ist wohl selbstverständlich, dass diese Zahl gegebenen Falls in der Regel viel zu klein sein wird, weil nämlich im allgemeinen zahlreiche benachbarte, fast gleichartige Tastzellen gleichzeitig gereizt werden. Wir nehmen aber auf diese grössere Komplikation vorderhand keine Rücksicht. Die Tastzellen übertragen ihre Reize durch die reizleitenden Zellen, deren Zellkörper durch die kleinen Kreise bei a b c d e f angedeutet sind, auf die durch kleine Dreiecke dargestellten niederen Zentralleitungszellen A B C D E F, von diesen auf die nächsthöheren Zentralleitungszellen A_1 B_1 C_1 D_1, von den letzteren endlich auf eine noch höhere Zentralleitungszelle A_2 usf. Wir nehmen bei dieser Betrachtung auch keine Rücksicht mehr auf ein mögliches Wachstum und auf eine Vermehrung der reizleitenden Zellen a b c d e f selber, weil wir diese schon früher behandelt haben.

Es mögen vielmehr diese Zellen bereits in so grosser Zahl vorhanden oder mit solchen Fibrillenquerschnitten ausgestattet sein, dass sie durch die Tastreize, um deren Uebertragung es sich jetzt handelt, keine nennenswerte Vergrösserung oder Vermehrung mehr erfahren. Dagegen ziehen wir die übrigen reizleitenden Zellen, die in der Figur mit grossen Buchstaben bezeichneten Zentralleitungszellen in Betracht, die sich in der Regel im ner-

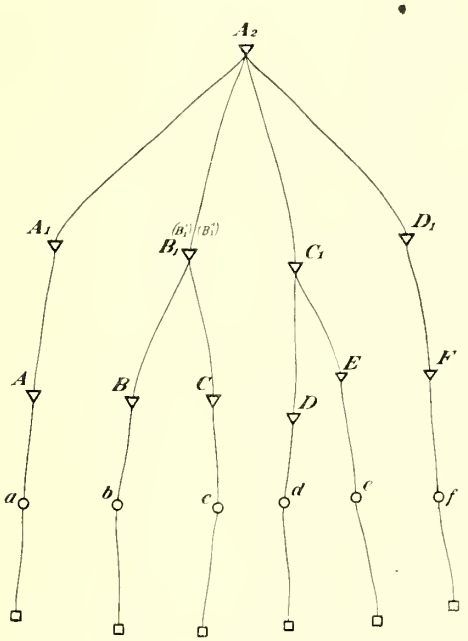


Fig. 3.

vösen Zentralorgan, also im Rückenmark oder Gehirn, befinden. Auch diese Zellen müssen wachsen und sich vermehren können. In der That soll ja zum mindesten in der frühesten Jugend die Gehirnmasse noch eine plastische, das heisst eine wenig differenzierte, eine umwandlungsfähige Masse sein.

Wären die unserer Betrachtung zu Grunde gelegten sechs Tastreize gleich stark, so würden zwar die reizleitenden Zellen a b c d e f und die Zentralleitungszellen A B C D E F alle unter sonst gleichen Verhältnissen gleich stark erregt, nicht aber die höheren Zellen A_1 B_1 C_1 D_1. Denn B_1 und C_1 erhalten nach

unserem Schema von zwei Seiten Reize. Wir wollen überdies annehmen, im gegebenen Fall seien die Tastreize b und c zusammen stärker als die Tastreize d und e, und etwa noch der Tastreiz c absolut genommen der stärkste von den gegebenen sechs Tastreizen; es sei ferner die hier als höchste angenommene Zentralleitungszelle A_2 eine noch nach anderen Richtungen hin so vielfach verzweigte, dass sie von jenen sechs Tastreizen her nur unbedeutend erregt wird. Es muss dann, unserem Schema gemäss, die Zentralleitungszelle B_1 unter sonst gleichen Umständen die am stärksten gereizte Zentralleitungszelle sein. Sie wird am stärksten assimilieren, am raschesten sich vergrössern und sich teilen, so dass ihr Zellkörper in zwei Zellkörper sich spaltet, wie wir solches früher schon mehrfach beschrieben haben. Infolge der fortdauernden oder öfters wiederholten Erregungen spalten sich aber auch die die Reize leitenden Fibrillen in zwei Fibrillen. Es erhält daher jede von den durch Spaltung entstandenen B_1-Zellen nach jeder Richtung hin ihre eigenen Fibrillen. Es werden sich zuerst die Fibrillen der Bahnen $B_1 A_2$, $C B_1$, $B B_1$ abspalten, so dass wir in B_1 zwei fast gleichwertige Zellen erhalten. Diese beiden Zellen differenzieren sich aber, und dies hat zur Folge, dass fernerhin die eine von ihnen dem sympathischen Nervensystem ausschliesslich verbleibt, während die andere durch die gegebenen Tastreize stärker erregt wird und dieselben besser fortleitet.

Ungefähr zu gleicher Zeit haben sich auf den anderen Reizleitungsbahnen entsprechende Veränderungen vollzogen. Entweder entstehen dort gleichfalls durch die häufigen Erregungen Doppelzellen, also etwa bei C_1, wenn auch etwas später als bei B_1, weil nach unserer Voraussetzung die Tastzellen d und e schwächer erregt werden als b und c. Oder es entstehen auf den übrigen Bahnen nur Fibrillen, die sich von den bt. nervösen Zellen abspalten. Arbeiten nämlich, ihrer Erregung durch die Tastreize zufolge, die Fibrillen der Bahnen $B_1 A_2$ und $C_1 A_2$ gleichzeitig, so assimilieren sie namentlich an ihrer Berührungsstelle A_2 kräftig, wo ihre Wirkungen sich addieren. Wenn nun auch diese Assimilationsthätigkeit nicht eine genügend intensive ist, um den Zellkörper A_2 selber zur Spaltung in zwei Zellkörper zu bringen, so wird doch an dieser Stelle so viel gleichartiges Material assimiliert, dass sich eine fibrillen-

artige Brücke von den Fibrillen $B_1 A_2$ zu der Fibrille $C_1 A_2$ bildet, dass sich eine solche von dem Zellkörper A_2 abspaltet. Diejenige von den beiden Fibrillen der Bahn $B_1 A_2$, welche durch die gegebenen Tastreize stärker erregt wird als die andere, setzt sich sodann durch die so entstandene Fibrillenbrücke hindurch, der Zelle A_2 entlang, fort in die Fibrille $C_1 A_2$. Folgen sich immer mehr solcher Reize, so spaltet sich die Fibrille $C_1 A_2$ in zwei Fibrillen. Dann bilden sich Fibrillenbrücken um C_1 herum, die schliesslich in Fibrillen $C_1 D$ und $C_1 E$ auslaufen. In gleicher Weise kommen andere solche Fibrillenbrücken bei A_2 zu stande, an die sich Fibrillen über A_1 nach A und über D_1 nach F anschliessen.

Wenn von den gegebenen sechs zusammengehörigen Tastreizen einer oder ein paar so viel intensiver wirken als alle übrigen, dass nur eine einzige Zentralleitungszelle ihren Zellkörper infolge dieser Reize in zwei Zellkörper zu spalten vermag, wenn dagegen von den übrigen Zentralleitungszellen nur die durch die bt. Reize am stärksten erregten Fibrillen in zwei Fibrillen sich spalten, so entsteht infolge jener häufig wiederkehrenden zusammengehörigen Tastreize nur eine einzige neue Zentralleitungszelle. Diese Zelle sendet ihre Fibrillen aus nach allen gleichzeitig mit erregten Zentralleitungszellen. Unserem Schema gemäss besitzt somit die bei B_1 neu entstandene Zelle Fibrillen nach den Richtungen $A_2 A_1$ A, B, C, $A_2 C_1$ D, $A_2 C_1$ E, $A_2 D_1$ F hin. Wäre ein anderer der gegebenen Tastreize der entsprechend überwiegende gewesen, so hätte ebensowohl der Zellkörper der beschriebenen neu entstandenen Zelle von C_1 oder von A_1 oder von D_1 sich abspalten können, oder auch von einer der Zentralleitungszellen A, B, C, D, E, F.

Associationsbahnen und Associationszellen für die Tastempfindungen.

Hervorzuheben ist indessen, dass dem ganzen Vorgang der Zellteilung zufolge, wie er bei Zellenstaaten zu stande kommt (II, S. 197), diejenigen Tochterzellen, zb. B_1' und B_1'', die aus einer und derselben Mutterzelle B_1 hervorgegangen sind, durch Fibrillen an irgend einer Stelle miteinander verbunden bleiben. Daher wird auch die oben behandelte neu entstandene, dem

sympathischen Nervensystem nicht mehr angehörende Zelle, etwa B_1'', durch nervöse Fibrillen mit allen genannten Zentralleitungszellen, von denen sie ihren Zellkörper bz. einzelne Fibrillen abgeschnürt hat, verbunden bleiben. Mit der Zeit können allerdings solche Fibrillen sich rückbilden. Sie werden schliesslich zum Teil ganz verschwinden, dann nämlich, wenn sie niemals gebraucht werden, wenn sie niemals arbeiten. In diesem Fall werden die ihnen unmittelbar benachbarten Teile anderer Zellen, die infolge ihres Arbeitens assimilieren, solche unthätige Fibrillen auflösen, resorbieren, durch Assimilation in ihre eigenen Zellsubstanzen umwandeln.

Unsere für die gegebene Kugel neu gebildete Zelle B_1'' steht also durch besondere Fibrillen mit dem Zentralleitungsnetze, mit dem nervösen Zentralorgan in Verbindung, und zwar aller Wahrscheinlichkeit nach am innigsten durch die schwesterliche Zentralleitungszelle B_1' hindurch, die zugleich mit ihr aus der Mutterzelle B_1 entstanden ist. Diese beiden neuen Zellen differenzieren sich nun in folgender Weise: Die eine Tochterzelle B_1', welche, wie früher die mütterliche Zelle B_1, an das Zentralleitungsnetz angeschlossen wird, also etwa so wie es unserem Schema (Fig. 3) entspricht, leitet nun vorzugsweise zu A_2 die Reize, die von b und von c herkommen. Sie gehört für die Folge ausschliesslich dem sympathischen Nervensystem an. Die andere Tochterzelle B_1'' besitzt dagegen Fibrillen, die an A_2 vorbeireichen. Wird sie erregt, so leitet sie ihren Reiz weiter, in erster Linie auf B_1', zum geringeren Teil aber auch noch auf andere Zentralleitungszellen (A_2, A_1, C_1, D_1, A, B, C, D, E, F), mit denen sie durch besondere Fibrillen verbunden geblieben ist. In allen diesen Zentralleitungszellen werden auf das nervöse Zentralorgan, also auch auf das Ich die unbewussten Empfindungen übertragen, die in ihrer Gesamtheit von der gegebenen Kugel herrühren. Wir erkennen aus diesen Betrachtungen, dass die Erregung der Zelle B_1'' auf das nervöse Zentralorgan einen ganz anderen Eindruck machen muss, als die Erregung jeder einzelnen der übrigen Zentralleitungszellen, auch einen anderen als die Erregung irgend einer einzelnen der gegebenen sechs Tastzellen. Das Ich empfindet bei der Erregung der Zelle B_1'' eine Zusammengehörigkeit, eine jedesmal sich gleichbleibende Gesamtheit.

Am stärksten wird die Zelle B_1'' erregt, wenn die gegebene Kugel so betastet wird, dass alle genannten zusammenwirkenden Tastreize a b c d e f gleichzeitig zur Geltung kommen. Es kann aber irgend einer von diesen Reizen durch irgend ein Mittel unterdrückt werden, so dass er nicht bemerkt wird. Es werde zb. derjenige Tastreiz, sagen wir b (Fig. 3), der die dem Kugeldurchmesser zugehörige Ausdehnungsempfindung im Gefolge hat, etwa dadurch unterdrückt, dass die Kugel mit den Fingern nicht umspannt wird. Wenn aber alle übrigen der Kugel zukommenden Tastreize (S. 31) wirksam sind, so werden alle hier in Betracht kommenden reizleitenden Zellen, b ausgenommen, ihre Reize auf die Zelle B_1'' übertragen. Sind diese Reize nicht zu schwach, so wird die Zelle B_1'' durch dieselben genügend erregt, um ihrerseits auf das nervöse Zentralorgan einen Reiz auszuüben, namentlich durch die Zentralleitungszelle B_1', aber auch durch alle übrigen Zentralleitungszellen hindurch, in denen sie mit dem nervösen Zentralorgan zusammenhängt. Dadurch wird auf das Ich die Gesamtempfindung der Kugel hervorgebracht; weil die ganze Zelle B_1'' erregt ist, kommt für das Ich auch die Ausdehnungsempfindung des Kugeldurchmessers in gewisser Weise zur Geltung, obwohl bei der vorausgesetzten Betastung der Kugeldurchmesser nicht unmittelbar einen entsprechenden Reiz hervorbringt.

Werden von den gegebenen sechs Tastreizen zwei unterdrückt, die übrigen vier aber um so kräftiger ausgeübt, so kann wiederum die der Kugel zugehörige neu gebildete Zelle B_1'' so stark erregt werden, dass für das Ich die Gesamtempfindung der Kugel zu stande kommt, ganz ähnlich, wie wenn alle sechs Tastempfindungen unmittelbar wahrgenommen worden wären. Ebenso kann durch drei, durch zwei und sogar durch nur einen jener sechs Tastreize, wenn sie kräftig genug einwirken, die Zelle B_1'' so stark in Erregung versetzt werden, dass dadurch die Gesamtempfindung der bt. Kugel auf das Ich hervorgebracht wird. Bei genügender Intensität irgend eines auf die Zelle B_1'' ausgeübten Reizes kommt jene Gesamtempfindung der Kugel zu stande. Es löst dann eine durch einen wirklichen Reiz hervorgebrachte Tastempfindung mittelbar eine ganz andere Tastempfindung aus, ohne dass letztere unmittelbar durch den ihr zugehörigen Tastreiz auch nur angeregt worden wäre. So haben

für unser Beispiel die auf a c d e f wirkenden Tastreize nicht nur die unmittelbar zugehörigen Tastempfindungen, sondern auch die nicht unmittelbar bewirkte Tastempfindung b im Gefolge, oder die auf a c e f wirkenden Tastreize haben noch die Tastempfindungen b und d im Gefolge usf.

Der Umstand, dass eine unmittelbar bewirkte Empfindung mittelbar eine ganz andere Empfindung hervorrufen kann, scheinbar ohne entsprechenden Reiz, wird in der Psychologie einer Association zugeschrieben. Man spricht von „Associationsbahnen", durch welche erstere Empfindungen die letzteren nach sich ziehen. In unserem Beispiel würde die Zelle B_1'' für solche Associationsbahnen die Wegleitung geben. Wir wollen diese Zelle, der Einfachheit halber, als „Associationszelle" bezeichnen, um mit dem Namen anzudeuten, dass durch diese Zelle hindurch bestimmte Empfindungen — scheinbar ohne äussere Ursache — bestimmte ganz andere Empfindungen nach sich ziehen können, auf dem Wege und in der Weise, wie wir es weiter oben ausführlich erörtert haben.

Erinnerungsbild.

Gehört die gegebene Kugel zu dem ständigen Spielzeug des Kindes, so bildet sich für dieselbe eine derartige Associationszelle aus, in kürzerer oder längerer Zeit. Ist eine solche Zelle einmal gebildet, so repräsentiert sie für das Ich des Kindes ein Erinnerungsbild der Kugel. Wird die Kugel vom Kind zur Hand genommen oder wird sie in dieselbe gegeben, so wird die zugehörige Associationszelle erregt und auf sein Ich wird eine unbewusste Gesamtempfindung hervorgebracht, die schon öfters in gleicher Weise vorhanden war. Neue Empfindungen kommen dabei nicht zur Geltung. Also erinnert sich das Ich der früheren gleichen durch die Kugel hervorgerufenen Tastempfindungen, wenn auch unbewusst.

Unterschiedsempfindlichkeit.

Es werde nun dem Kind eine andere Kugel in die Hand gegeben, der ersten Kugel ganz gleich, eine einzige Beziehung

ausgenommen. Es sei nämlich der Durchmesser der zweiten Kugel grösser als derjenige der ersten, die Massen und alle sonst in Betracht kommenden Eigenschaften der beiden Kugeln seien aber dieselben. Sind die Durchmesser der beiden Kugeln nicht sehr verschieden, so wird das Kind die zweite Kugel für die erste halten. Bei der Betastung der zweiten Kugel wird nämlich die Associationszelle (B_1'') der ersten Kugel erregt, auch wenn einer von den sonst üblichen sechs Tastreizen, zb. der b zugehörige, anders ist als gewöhnlich; diese Zelle wird sogar erregt, wie wir gesehen haben, wenn b ganz fehlt. Das Kind erhält also in seinem Ich jedenfalls die Gesamtempfindung der Kugel.

Indessen sind die soeben behandelten auf das nervöse Zentralorgan übertragenen Reize in den verschiedenen Fällen doch etwas verschieden. Die im Ich hervorgebrachte Gesamtempfindung der Kugel ist daher eine andere, wenn alle sechs Tastreize ausgeübt werden, als wenn zb. der Tastreiz b ganz fehlt. In letzterem Fall wird die Uebertragung des b entsprechenden Reizes von der Associationszelle B_1'' auf das nervöse Zentralorgan geschehen, durch die Zentralleitungszelle B (Fig. 3) hindurch, und sie wird schwächer sein als in ersterem Fall. Ebenso sind die Gesamtempfindungen des Ich andere, wenn 2, 3, 4 und mehr Tastreize fehlen. Die Gesamtempfindung ist endlich auch eine andere, wenn alle Tastreize fehlen, wenn die bt. Associationszelle B_1'' vielmehr auf ganz anderem Weg, durch innere Vorgänge, etwa durch mehr oder weniger reichlichen Nahrungszufluss in entsprechend verschiedener Weise gereizt worden ist.

Zwar wird nun auch unsere zweite Kugel eine andere Gesamtempfindung im Ich hervorbringen, wenn der Durchmesser derselben einen Unterschied gegen den Durchmesser der ersten Kugel aufweist; das Ich kann aber solche Unterschiede nur empfinden, wenn dieselben verhältnismässig erhebliche sind. Denn die Tastreize sind sogar bei einer und derselben Kugel niemals ganz gleiche. Einmal wird die Kugel fester, einmal weniger fest angefasst; einmal liegt sie auf der einen, einmal auf einer wesentlich anderen Stelle der Hand; einmal wird sie mit 2, einmal mit 3, mit 4 oder mit allen 5 Fingern umspannt usf. Es kann demnach das Erinnerungsbild der Kugel, das durch die bt. im Erregungszustand befindliche Associationszelle im Ich

hervorgebracht wird, niemals ein ganz vollkommenes sein, nie in mathematischem Sinn bestimmten genau angebbaren Grössen entsprechen. Es ist umgekehrt dieses Erinnerungsbild stets ein mehr oder weniger verschwommenes, und jede andere Kugel wird somit für die erste und ursprünglich zur Empfindung gekommene Kugel gehalten, wenn nicht gewisse Eigenschaften der Kugeln ganz erheblich voneinander abweichen.

Unseren Entwicklungen zufolge kommt dem Ich des Kindes nur eine verhältnismässig geringe Empfindlichkeit für Unterscheidungen gleichartiger Reize zu, hier im besonderen für die Unterscheidung der durch gleichartige Tastreize wahrgenommenen Gegenstände. Diese Unterschiedsempfindlichkeit ist um so geringer, je weiter die entsprechenden gleichartigen Tastreize zeitlich auseinander liegen, aber um so grösser, je unmittelbarer die Tastreize aufeinander folgen. Wir wollen die bt. Verhältnisse an der Associationszelle erläutern, die der behandelten Kugel zukommt.

Wird dem Kind die erste Kugel in die Hand gegeben, so wird dadurch die der Kugel zugehörige Associationszelle erregt. Sein Ich hat die Empfindung der ihm bekannten Kugel, es erinnert sich der öfters zur Empfindung gekommenen Kugel, weil dieselbe Reizgruppe in ihrer Gesamtheit schon öfters ausgeübt wurde. Wird dem Kind unmittelbar darauf die andere Kugel gegeben, so erinnert es sich wiederum jener ersten Kugel. Wenn aber irgend einer der besprochenen sechs Tastreize wesentlich anders ausfällt, als vorher, wenn demnach merkliche Unterschiede da sind, so empfindet das Ich die zweite Kugel als etwas anderes als die erste. Eine bestimmte Unterschiedsempfindlichkeit wird dabei zur Geltung kommen.

Nun nehmen wir aber an, vom Betasten der ersten Kugel bis zu demjenigen der zweiten Kugel verstreiche eine längere Zeit, und in dieser Zwischenzeit werde keine von den beiden Kugeln dem Kind dargereicht. Wenn dies der Fall ist, wird die zugehörige Associationszelle B_1'' während dieser Zeit nicht mehr durch äussere Reize erregt. Sie arbeitet nicht mehr, ihre Bestandteile assimilieren nicht mehr. Weil dagegen in der betrachteten Zwischenzeit andere analoge Tastreize öfters entsprechende Empfindungen hervorrufen, weil also die jener Associationszelle unmittelbar benachbarten Schwesterzellen, die

seiner Zeit aus denselben Mutterzellen entstanden sind, öfters arbeiten, also assimilieren und sich zu vergrössern streben, so muss jene Associationszelle B_1'' vielmehr verkleinert werden. Ihre nichtarbeitenden Fibrillen werden durch die unmittelbar benachbarten arbeitenden Fibrillen aufgelöst, resorbiert, durch Assimilation in die Substanzen dieser letzteren umgewandelt, was ganz besonders leicht gelingt, weil alle diese nervösen Zellen aus sehr wenig verschiedenen Substanzen aufgebaut sein müssen (vgl. II, S. 156). Diese Auflösung von Fibrillen der Associationszelle schreitet mit der Zeit immer weiter fort, und zuletzt, wenn nie mehr eine ähnliche Kugel zur Empfindung des Kindes gelangte, würde die bt. Associationszelle selber ganz verschwinden bz. in eine andere nervöse Zelle umgewandelt werden. Es geht daraus hervor, dass das Erinnerungsbild, das diese Associationszelle auf das Ich hervorbringt, immer mehr an Klarheit und Deutlichkeit abnimmt, eine je längere Zeit verstrichen ist seit der letzten Gesamtempfindung einer solchen Kugel. Das Kind wird demnach die Kugel, die früher seinem Spielzeug angehörte, schliesslich ganz vergessen, ihr Erinnerungsbild wird ihm verloren gehen. Nach Massgabe dieses Verlustes des Erinnerungsbildes wird aber auch späterhin eine zweite verschiedene Kugel leichter für die ursprüngliche erste gehalten. Es muss dies um so leichter möglich sein, je grösser die Zeitspanne ist, um welche die bt. Tastempfindungen auseinanderliegen.

Teilung und Verdopplung der Associationszelle.

Bleibt die erste Kugel fortgesetzt im Besitz des Kindes, so behält dasselbe seine Associationszelle für seine Kugel. Erhält es nun auch noch die zweite Kugel zu bleibendem Besitz, so wird jene Associationszelle durch die zweite Kugel anders erregt als durch die erste. Beide Kugeln werden häufiger betastet, als nur eine allein. Infolge des wiederholten Betastens der Kugeln arbeitet die bt. Associationszelle, sie assimiliert. Ihre Substanzen vermehren, ihre Fibrillen vergrössern sich. Durch beide Kugeln werden ihre gleichen Fibrillen erregt, ausser etwa derjenigen Fibrille, die dem Tastreize b entspricht (S. 39). Alle jene Fibrillen vergrössern, verstärken sich also infolge des fortdauernden Gebrauchs der beiden Kugeln, infolge der Uebung

in deren Betasten, ausgenommen die zu b gehörige Fibrille, die nur beim Betasten der ersten Kugel erregt wird, während beim Betasten der zweiten später erhaltenen Kugel ein ganz anderer Tastreiz b′ durch eine andere noch zum sympathischen Nervensystem gehörige reizleitende Fibrille auf das nervöse Zentralorgan übertragen wird. Wenn nun die zweite Kugel gleichfalls sehr häufig betastet wird, so arbeitet die Associationszelle B_1'', die zur ersten Kugel gehört, aber ohne ihre Fibrille $B\,B_1''$ (Fig. 3), regelmässig zusammen mit einer anderen Fibrille $B\,B_1'$, die aber jener Fibrille $B\,B_1''$ unmittelbar benachbart ist. Denn diese beiden Fibrillen sind ursprünglich aus einer und derselben Fibrille $B\,B_1$ entstanden. Die genannten arbeitenden Fibrillen assimilieren also gleichzeitig und es entsteht da, wo sie sich am nächsten kommen, also etwa bei B_1, an welcher Stelle ohnehin Fibrillen von B_1' in die Zelle B_1'' hineinreichen (S. 35), eine Brücke um die bt. Zellkörper herum (vgl. S. 34, 35). Nach und nach spaltet sich eine neue Fibrille $B_1''\,B$ von $B_1'\,B$ ab, so dass nunmehr die Associationszelle B_1'' an allen Stellen verstärkte Fibrillen hat, ausgenommen auf der Bahn $B_1\,B$, wo statt dessen zwei ungefähr parallel verlaufende Fibrillen der Associationszelle angehören, eine für jede der beiden vorhandenen Kugeln. Wird die eine Kugel betastet, so wird die Associationszelle mit ihrer einen Fibrille $B_1''\,B$ erregt, beim Betasten der anderen Kugel wird sie mit ihrer anderen Fibrille $B_1''\,B$ erregt. Wenn beide Kugeln für das Kind eine wichtige Rolle spielen, wenn sie beide zum beliebten Spielzeug desselben gehören, so muss infolge der häufigen Betastung beider Kugeln die Associationszelle B_1'' stark assimilieren. Sie muss sich so sehr vergrössern, dass schliesslich eine Teilung in zwei Associationszellen zu stande kommt. Jede von den beiden etwas verschiedenen Kugeln erhält dann ihre eigene Associationszelle. In diesen aber sind namentlich die Fibrillen längs der Bahnen $B_1\,B$ voneinander verschieden.

Verschiedenartige Associationsbahnen und Associationszellen.

Gehört ein Würfel zum ständigen Spielzeug des Kindes, so bildet sich in seinem nervösen Zentralorgan für den Würfel

eine Associationszelle aus und sobald diese entstanden ist, hat sein Ich ein mehr oder weniger deutliches und bleibendes Erinnerungsbild des Würfels. Aber schon nach einer einmaligen gründlichen Betastung des Würfels, wie jener Kugel, bleibt ganz kurze Zeit ein schwaches Erinnerungsbild zurück. Weil nämlich bei der Betastung die entsprechenden reizleitenden Nerven arbeiten müssen, assimilieren sie. Ihre am stärksten arbeitenden Fibrillen, die zum Teil nur molekulare Durchmesser haben (I, S. 80), assimilieren neue ebenso feine Fibrillen. Der arbeitenden Fibrillen sind aber in jedem thatsächlichen Fall sehr zahlreiche, wegen der zahlreichen gereizten Zellen, und die neu entstandenen Fibrillen müssen demnach wie ein feinstes Netz miteinander zusammenhängen; denn jene zusammen arbeitenden Fibrillen hängen selber an bestimmten Stellen miteinander zusammen. Sie müssen an irgend einer Stelle, ausserhalb oder innerhalb des nervösen Zentralorgans, ineinander übergehen, sonst könnten sie ihre Reize nicht aufeinander bz. auf dieselben Teile des Zentralorgans übertragen. Schon bei jener einmaligen Betastung entsteht daher ein neues Netz aus Fibrillen von molekularen Durchmessern, gleichsam ein ungemein verkleinertes Abbild der durch oftmalige Betastung entstehenden Associationszelle, die eben nur aus sehr zahlreichen derartigen nebeneinander gelagerten Fibrillen hervorgehen kann. Je dünner aber die Fibrillen eines solchen Netzes sind, je kürzer und je schwächer also die einmalige Betastung war, um so schneller werden die Fibrillen wieder aufgelöst, resorbiert, in die Substanzen anderer Fibrillen umgewandelt, und um so schneller verschwindet daher das zugehörige Erinnerungsbild.

Analoge Associationszellen werden sich bilden bei häufigem Betasten anderer Gegenstände, zb. eines Cylinders, eines Kegels, einer Pyramide, eines Prismas usf., wenn solche Gegenstände dem Kind zum Spielen überlassen werden. Associationszellen bilden sich sehr bald für die Milchflasche und für andere kompliziertere Gegenstände, die besonders wichtig sind für das Kind und in seinen Bereich gelangen. Dabei kommen die Empfindungen von gleich und ungleich zur Geltung, sobald mehrere Gegenstände dem Kind dargereicht werden. Erregen zwei Gegenstände ganz dieselben reizleitenden Zellen oder Associationszellen in genau gleicher bz. in unmerklich verschiedener Weise, so

empfindet das Ich beide Gegenstände als gleich; in allen anderen Fällen aber empfindet es dieselben als ungleich.

Ichempfindung durch Betastung.

Ein grosser Unterschied unter den Empfindungen muss indessen beim Betasten ausserdem sich noch geltend machen. Hände und Füsse betasten nämlich nicht nur fremde Gegenstände, sondern auch den eigenen Körper. Wird zb. mit einer Hand irgend eine andere Stelle des Körpers betastet, so werden stets an zwei verschiedenen Körperstellen gleichzeitig Tastempfindungen hervorgebracht: an der betastenden und an der betasteten Körperstelle. Beide zugehörigen nervösen Zellen übertragen die bt. Tastreize auf das nervöse Zentralorgan, ganz ähnlich wie wir es weiter oben gezeigt haben. Die Reize dringen von jeder der beiden Körperstellen aus genau gleichzeitig vor, weiter und weiter, von niederen zu höheren Zentralleitungszellen. Alle an diesen Reizleitungen mitwirkenden Zellen arbeiten während derselben gleichzeitig. Sie assimilieren demzufolge gleichzeitig, und wenn die gleiche Selbstbetastung immer und immer wiederkehrt, assimilieren diese Zellen so stark, sie wachsen und vergrössern sich in solchem Masse, dass mindestens einer von ihren Zellkörpern sich teilt, derjenige nämlich, der am intensivsten für diese Tastempfindungen arbeiten muss. Es entstehen aus der entsprechenden Zelle zwei neue reizleitende Zellen. Anfangs teilt sich nur ihr Kernkörper, dann schnürt sich der ganze Zellkörper ein und er teilt sich gleichfalls. Ungefähr gleichzeitig schreitet die Zellteilung längs derjenigen Fibrillen fort, die während jener Empfindungen am intensivsten zu arbeiten haben. Sie schreitet längs der ganzen Reizleitungsbahn fort, welche in das nervöse Zentralorgan hinein, welche durch dieses Organ hindurch zu den anderen mitwirkenden tastreizleitenden Zellen sich erstreckt. Sind die Reize, die bei dieser Selbstbetastung entstehen, genügend kräftig und häufig, so teilen sich auch noch andere mitwirkende Zellen. Es könnten infolge solcher Zellteilungen ebensoviele neue Zellen entstehen, als die ganze Reizleitungsbahn Zellen aufweist. Allerdings wird dies in der Regel nicht der Fall sein. Sicher aber entsteht bei der häufigen Selbstbetastung eine oder es entstehen einige Associationszellen, die späterhin,

wenn sie in irgend einer Weise gereizt werden, dem Ich die Empfindung der Gestalt und der durch Tasten zu ermittelnden sonstigen Beschaffenheit des eigenen Körpers zur Kenntnis bringen.

Die soeben beschriebenen Associationszellen unterscheiden sich dadurch von allen anderen durch fremde Gegenstände hervorgerufenen Associationszellen, dass bei ihrer Erregung durch Tastreize unfehlbar jederzeit zwei solche Reize gleichzeitig auftreten, was bei allen Reizungen durch fremde Gegenstände nicht notwendig der Fall sein muss. Demnach unterscheidet nun das Ich die fremden Gegenstände vom eigenen Körper. Es kommt der Unterschied zwischen der Empfindung des Objekts und des Subjekts zur Geltung. Vermittelst dieser Associationszellen empfindet das Ich durch einen seiner Teile einen anderen bz. alle anderen seiner Teile. Durch Vermittlung einer tastenden Hand empfindet das Ich, dass die betastete andere Hand, dass der eine und der andere Arm, dass der Kopf, der Rumpf, die Beine, dass alle einzelnen Bestandteile dieser Körperteile keine fremden Gegenstände sind, dass dieselben vielmehr zum Ich gehören, dass sie durch gewisse wenn auch ungekannte Verbindungen mit der tastenden Hand zusammenhängen müssen. Das Ich empfindet dadurch sich selbst. Es entsteht eine Ichempfindung. Die eine Körperstelle bringt dabei mehr die Empfindung der Härte, die andere diejenige der Wärme, wieder eine andere diejenige der Feuchtigkeit auf die tastende Hand hervor usf. Für jede von diesen Empfindungen entstehen bestimmte Fibrillen in der Associationszelle des Ich.

In Uebereinstimmung mit unseren früheren Entwicklungen (S. 35) werden verschiedenen Körperstellen ganz verschiedene Teile der Associationszelle, verschiedene Fibrillen derselben zugehören, teils weil jene räumlich in gewissen Abständen voneinander sich befinden, teils weil die Empfindungen verschiedener Körperstellen verschiedener Art sind. Statt einer Associationszelle für das Ich selber können übrigens bei der grossen Bedeutung, die das Subjekt für alle seelischen Vorgänge besitzt, mehrere Associationszellen, es kann ein ganzes System von Associationszellen sich ausbilden, welches das tastbare Ich dem empfindenden Ich zur Empfindung bringt.

Associationszelle für die Lichtempfindung.

Gleichzeitig mit dem Tastsinn beginnen die anderen Sinne zu arbeiten. Es arbeitet das Auge. Wenn die Kugel in eine passende Lage vor des Kindes Auge gebracht wird, so entsteht auf der bt. Netzhaut ein optisches Bild der Kugel. Durch die Helligkeit dieses Bildes werden zahlreiche Nervenenden, vermutlich die Stäbchen, durch die Farbe desselben werden entsprechend die Zapfen gereizt und erregt, und die zugehörigen lichtreizleitenden Nerven übertragen diese Reize auf das nervöse Zentralorgan, ganz analog, wie unserer Fig. 3 gemäss eine Reihe von Tastreizen auf das Zentralorgan übertragen wurde. Betrachtet das Kind die Kugel häufig, wiederholen sich also jene gleichen optischen Reize oft, so arbeiten die gleichen optisch reizleitenden Nerven oft zusammen und sie assimilieren gleichzeitig. Es entsteht daher für das optische Bild der Kugel, demjenigen Abstand entsprechend, in dem die Kugel am häufigsten betrachtet worden ist, schliesslich eine besondere Associationszelle. Diese Associationszelle ist es aber, welche die oft gesehene Kugel für das Ich gewissermassen in der Erinnerung festhält, welche dieselbe in seinem Gedächtnis behält.

Die Associationszelle für das optische Bild der Kugel ist jedenfalls viel verzweigter als diejenige für die betastete Kugel. Zwar wirken auch bei der Betastung der Kugel viel mehr Reize gleichzeitig mit, als die sechs Tastreize, die wir weiter oben (S. 32) beispielshalber unseren Entwicklungen zu Grunde gelegt haben. Doch liegen die für Tastreize empfindlichen Punkte an der ganzen Körperoberfläche und auch in der Hand selber ungemein viel weiter auseinander, als die lichtempfindlichen Zapfen und Stäbchen der Netzhaut. Es werden demzufolge bei der Betrachtung der Kugel weit mehr optisch reizleitende Nerven in Erregung versetzt, als tastreizleitende bei der Betastung derselben. Folglich muss in der That die „optische“ Associationszelle für die Kugel weit komplizierter sein, als die zuerst behandelte Associationszelle derselben, die nur durch Tastreize hervorgerufen worden ist.

Kombination von Tast- und von Lichtempfindungen.

Weil indessen der Tastsinn und der optische Sinn nach der Geburt gleichzeitig zu arbeiten beginnen, wird der Fall eintreten, dass jene zum Spielzeug des Kindes gehörige Kugel zugleich mit der Hand betastet und mit dem Auge betrachtet wird. In diesem Fall arbeiten die beiden Associationszellen, die sich für die Kugel bereits gebildet haben, gleichzeitig. Wenn diese gleichzeitigen Tast- und Gesichtsempfindungen häufig genug zu stande kommen, wird sich eine neue besondere Associationszelle ausbilden, welche aus jenen beiden früher beschriebenen Associationszellen der Kugel sich abspaltet, und welche gleichzeitig die von der Betastung und von der Betrachtung der Kugel herrührenden Reize dem Ich zur Empfindung bringt. In der Regel wirken beim Kind mit den Tastreizen immer mehr oder weniger gleichzeitig auch die optischen Reize. Also entwickelt sich für die Kugel unter Umständen überhaupt nur eine einzige Associationszelle im nervösen Zentralorgan, von Anfang an, eine Zelle, welche gleichzeitig die Tastreize und die optischen Reize, die von der Kugel ausgehen, dem Ich zur Empfindung bringt. Wird von nun an die Kugel gesehen, so werden durch die bt. optischen Empfindungen auch die zugehörigen Tastempfindungen ausgelöst, durch Association hervorgerufen. Das Kind empfindet mehr oder weniger die Oberflächenbeschaffenheit, den Durchmesser, die Masse seiner Kugel, wenn es dieselbe nur sieht. Umgekehrt erhält es ein mehr oder weniger treffendes optisches Bild seiner Kugel, wenn es dieselbe in der Hand hält, ohne das Auge darauf gerichtet zu haben.

Wird dem Kind eine zweite Kugel gebracht, so wird durch das optische Bild, das dieselbe auf der Netzhaut hervorruft, die Associationszelle der ersten Kugel miterregt, um so stärker, je ähnlicher die zweite Kugel der ersten in allen ihren Eigenschaften ist, oder je längere Zeiträume seit der letztmaligen Betrachtung der ersten Kugel verstrichen sind. Die Verhältnisse sind ganz analog den weiter oben für die Tastreize beschriebenen (S. 38). Wird aber ein Unterschied zwischen der zweiten und der ersten Kugel empfunden, etwa eine Ungleichheit des Durchmessers oder der Helligkeitsverteilung oder der Farbe der beiden Kugeln, so werden teilweise andere optische Nerven bz. Nervenfasern

durch die beiden Kugeln in Erregung versetzt. Die der ersten Kugel zukommende Associationszelle verstärkt sich zwar in zahlreichen ihrer Fibrillen, durch die häufige Vornahme beider Kugeln, aber einzelne Fibrillen verstärken sich nicht; vielmehr entstehen dort Fibrillenpaare etwas verschiedener Art, so dass zb. die einen Fibrillen dieser Paare nur durch die erste, die anderen nur durch die zweite Kugel unmittelbar erregt werden. Weil aber die paarweise sich entsprechenden Fibrillenarten mit einer und derselben Associationszelle verbunden sind, wird doch die eine Kugel auch die ausschliesslich zu der anderen Kugel gehörigen Fibrillen in Erregung versetzen und umgekehrt. Es heisst dies nichts anderes, als dass die eine Kugel stets das Erinnerungsbild der anderen Kugel dem Ich ins Gedächtnis zurückruft.

Durch gleichzeitige Wirksamkeit von Tastreizen und von optischen Reizen entstehen entsprechend kompliziertere Associationszellen für Würfel, Cylinder, Kegel, Pyramide, Prisma, wenn solche Körper dem Kind zu häufiger Benutzung überlassen werden, ferner namentlich für die Milchflasche und für andere besonders begehrenswerte oder nützliche Gegenstände.

Ichempfindung durch das Gesicht.

Sieht das Kind nach der Hand, so entsteht in seinem Auge auf der Netzhaut ein optisches Bild der Hand, und die entsprechenden reizleitenden Zellen des Sehnervs übertragen ihre Reize auf das nervöse Zentralorgan. In diesem werden dadurch zahlreiche räumlich voneinander getrennte Stellen gereizt. Das Ich empfindet unbewusst eine Menge gleichzeitiger Reize. Wird nunmehr diese betrachtete Hand gleichzeitig betastet, etwa mit der anderen Hand, so funktioniert diejenige Associationszelle, welche — nach unseren früheren Entwicklungen — der Selbstbetastung zufolge für die betastete Hand oder zum mindesten für das ganze betastete Ich entstanden ist. Es funktionieren zugleich jene bei der Betrachtung der Hand wirksamen optischen Nerven. Diese letzteren hängen aber mit jener Associationszelle durch Vermittlung des nervösen Zentralorgans in irgend welchen Bahnen zusammen. Somit entsteht infolge des gleichzeitigen Arbeitens und Assimilierens der beiderlei nervösen Zellen und

ihrer Verbindungsfasern die kompliziertere Associationszelle für die zugleich betastete und betrachtete Hand. Oder wenn für das ganze betastete Ich nur eine einzige Associationszelle sich gebildet hat, wird diese doch durch Nervenfibrillen vervollständigt, welche zu optisch reizleitenden Zellen hinüberführen und welche gegebenen Falls das optische Bild der Hand zu reproduzieren vermögen. Durch Betrachtung und gleichzeitige Betastung der übrigen Körperteile, der Füsse, Beine, des Rumpfes, der Arme usf. wird die Associationszelle für das Ich oder wird das System dieser Associationszellen, wenn deren mehrere einander ergänzende vorhanden sind, immer weiter ausgebildet und vervollkommnet. Es entsteht dadurch die Ich empfindung vermittelst des betrachtenden Auges, und zugleich entsteht die Erkenntnis, dass die durch die Tastreize und die durch die optischen Reize hervorgerufene Ich empfindung auf denselben Gegenstand, nämlich auf dasselbe Subjekt sich bezieht. Diese Erkenntnis geht daraus hervor, dass beliebige äussere Reize, die eine bestimmte Stelle des eigenen Körpers treffen, stets eine ganz gleiche Empfindung im Ich hervorbringen, sei nun diese Körperstelle unmittelbar durch Tastreize oder mittelbar durch optische Reize als zum Ich gehörend nachgewiesen worden.

Raumunterscheidung.

Vermittelst des Gesichtsinns empfindet das Ich die betrachteten räumlichen Formen, wenn diese zugleich durch den Tastsinn kontrolliert werden. Bald aber gewöhnt sich das Auge ganz an die Resultate des Betastens. Sind einmal die Associationszellen für räumliche Formen und Dimensionen entstanden, so hat das Auge die fortwährende Kontrolle durch den Tastsinn nicht mehr nötig. Es bringt dann die gesehenen Formen auch ohne Betastung zur richtigen Empfindung. Es unterscheidet die verschiedene Lage im Raume. Das Links und das Rechts, das Oben und das Unten werden in verschiedenen optisch reizleitenden Nervenbahnen zur Empfindung gebracht. Das Ich erkennt diese Verschiedenheit und bezieht sie auf eine räumliche Verschiedenheit, nachdem diese durch die Selbstbetastung nachgewiesen ist. Zu der Erkenntnis der Formen der Gegenstände und ihrer Lage relativ zum eigenen Körper leisten zahlreiche

sensible Nerven Mithilfe, welche die mannigfachen zum deutlichen Sehen notwendigen Bewegungen des Auges selber dem Ich zur Empfindung bringen.

Binokulares Sehen.

Normalerweise sind zwei Augen dem Menschen gegeben, und die embryonale Entwicklung ist so weit gediehen, dass beide Augen schon einige Monate nach der Geburt des Kindes gleichzeitig ihre Bewegungen ausführen. Bei der Betrachtung etwa einer betasteten Körperstelle sind dann beide Augen genötigt, zugleich auf diese Stelle hinzusehen (vgl. S. 104). Von den beiden je einem Auge entsprechenden Systemen optisch reizleitender Nerven gehen infolge dieser gemeinsamen Betrachtung Reize nach den durch Selbstbetastung entstandenen Associationszellen hin. Beide Augen bringen von nun an in entsprechender Weise die gleiche betastete Körperstelle zur Empfindung, nachdem die entsprechenden optisch reizleitenden Nervenzellen beider Augen durch die der Körperstelle zugehörige Associationszelle hindurch in die richtige Beziehung zu den tastreizleitenden Zellen und zu einander sich gesetzt haben. Weil nämlich beide Augen in der Regel gleichzeitig einen Gegenstand betrachten, arbeiten bestimmte optisch reizleitende Nervenfibrillen und Nervenzellen des einen und des anderen Auges immer zusammen. Es entstehen infolgedessen Associationsfasern zwischen den Paaren optisch reizleitender Nervenzellen beider Augen, die analogen Stellen der auf beiden Netzhäuten erzeugten optischen Bilder eines und desselben Gegenstandes entsprechen. Mit anderen Worten: die homologen Netzhautpunkten entsprechenden optisch reizleitenden Nervenfibrillen beider Augen enden nunmehr im nervösen Zentralorgan an denselben Stellen. In dieser Weise wird das gleichzeitige Sehen eines Gegenstandes mit beiden Augen zu einer einheitlichen Gesamtempfindung gestaltet, nachdem die Selbstbetastung gelehrt hat, dass in der That nur ein Gegenstand gesehen wird, obwohl in beiden Augen etwas verschiedene Netzhautbilder entstehen.

Es wäre ein Irrtum, zu glauben, dass die räumliche Verteilung der optischen Reizleitungsbahnen bz. diejenige der gereizten Enden der zugehörigen Nervenfibrillen, in denen die

Reize auf das nervöse Zentralorgan übertragen werden, irgend eine geometrische Beziehung zu den Netzhautbildern und somit zu dem betrachteten Körper selber haben müsse, dass also im nervösen Zentralorgan selber, etwa im Gehirn, gleichsam ein optisches Bild des gesehenen Körpers entstehe. Dies wird durchaus nicht der Fall sein. Die reizleitenden Nervenzellen endigen allerdings an ganz bestimmten Stellen. Allein ihr Verlauf wird bedingt durch die frühere Entwicklung des gesamten nervösen Organs während der Embryonalzeit, durch die nachher für ihre Weiterentwicklung zur Verfügung stehende Nahrung, durch die Art des nach der Geburt erfolgenden Gebrauchs. Ihre Enden sind also durch die ganze bisherige Entwicklung des Kindes in bestimmter Weise festgelegt.

Allerdings sind während der Embryonalentwicklung benachbarte Sehzellen sowie benachbarte Reizleitungszellen jeweilen aus den gleichen Mutterzellen entstanden, und deshalb ist es nicht ganz unwahrscheinlich, dass die Enden aller Reizleitungsbahnen, die den Sehzellen eines Auges entsprechen, in bestimmt geregelter Weise räumlich nebeneinander angeordnet sind. Solcher Enden der optisch reizleitenden Nerven können aber schon zur Zeit der Geburt zu jeder Sehzelle sehr viele gehören; noch grösser wird ihre Zahl durch die fortwährenden Spaltungen und Teilungen der Zellen, an denen jene Enden anschliessen, wenn wenigstens diese Zellen arbeiten und assimilieren. Daraus geht hervor, dass auch ein einfach geformter Körper bz. ein einfaches Netzhautbild in sehr kompliziert verteilten Punkten des nervösen Zentralorgans dem Ich zur Empfindung gebracht werden muss. An optische Aehnlichkeiten ist bei solchen Vorgängen gar nicht zu denken. Demnach ist es weder nötig noch wahrscheinlich, dass im Gehirn die optisch reizleitenden Nerven in analogen Flächen endigen, wie etwa ihre Anfänge, die Sehzellen selber in der Netzhaut, dass jene Enden also gleichfalls in einer Kugelfläche ausgebreitet liegen.

Ebensowohl ist die Frage, ob aufrechte oder verkehrte Bilder von uns wahrgenommen werden, ganz ohne tiefere Bedeutung. Durch Selbstbetastung wird das Oben und Unten, das Links und Rechts erfahrungsmässig festgesetzt. Die Unterscheidung von vorn und hinten erfolgt gleichfalls bald darauf. Sie wird namentlich ermöglicht durch eine Art von Tastempfindungen in ver-

schiedenen Augenbestandteilen bei der Accommodation und bei der Richtung beider Augenachsen auf den gleichen Punkt. Solche Unterscheidungen würden auch dann durch Erfahrung sich festsetzen, wenn die Enden der optisch reizleitenden Nervenfibrillen in denkbar unregelmässigster Weise da und dort im nervösen Zentralorgan verteilt wären.

Associationsbahnen zwischen den radial angeordneten Sehzellen.

Die homologen Netzhautpunkte beider Augen müssen durch das nervöse Zentralorgan hindurch in nähere Beziehung zu einander treten, sei es dass die Enden ihrer entsprechenden optisch reizleitenden Nervenfibrillen in bestimmten Punkten sich berühren, sei es dass durch eine Art von Anastomose Fibrillen gebildet werden, die die nervöse Leitung zwischen den bt. Nervenpaaren bewirken, sei es dass eigene Associationszellen zwischen solchen Nervenpaaren zu stande kommen. Aber noch eine andere wichtige Art von Verbindungen unter den Sehzellen muss bestehen. Denken wir uns eine bestimmte Sehzelle als die Mitte der Netzhautgrube; alle anderen Sehzellen seien in Kreisen um jene Sehzelle als Kreismittelpunkt angeordnet. Die auf den gleichen Radien dieser Kreise liegenden Sehzellen müssen nun in gewisse Beziehungen zu einander treten. Denn wenn wir näher an einen ins Auge gefassten Gegenstand herantreten, oder wenn ein Gegenstand, den wir dabei fortwährend fixieren, sich uns nähert, so wird das auf der Netzhaut entworfene optische Bild desselben in der Regel ähnlich bleiben. Bleibt aber das optische Bild eines Gegenstandes bei solchen Veränderungen sich selber ähnlich, so haben wir die Empfindung, dass es immer derselbe Gegenstand sei, den wir beobachten. Durch Betasten bei den ersten Sehübungen haben wir diese Erfahrung gewonnen. Daher müssen sich auch Associationsbahnen zwischen den auf jenen gleichen Radien liegenden Sehzellen gebildet haben, entweder unmittelbar durch besondere zwischen ihnen verlaufende Fibrillen, oder mittelbar durch ihre zugehörigen optisch reizleitenden Nerven hindurch, etwa vermittelst anastomosierender nervöser Fibrillen zwischen denselben. Auf solchen Bahnen wird zb. die zum Spielzeug des Kindes gehörige Kugel, wenn sie nicht in der üblichen

Entfernung vom Auge sich befindet, auf das in der üblichen Entfernung entstandene Erinnerungsbild dieser Kugel bezogen, durch Erregung der entsprechenden Associationszelle, und es wird daher die Kugel schon in der Ferne als die bis dahin zum Spielen benutzte Kugel erkannt. In jeder beliebigen Entfernung vom Auge, innert gewisser Grenzen, wird daher der bekannte Gegenstand wieder erkannt, weil seine Netzhautbilder einander stets ähnlich bleiben. Würden zwei nacheinander betrachtete ganz verschiedene Gegenstände doch ganz ähnliche Netzhautbilder hervorbringen, so würden sie uns den Eindruck eines und desselben Gegenstandes machen, ausgenommen sie befinden sich bei der Betrachtung in entsprechend verschiedenen Entfernungen, so dass unsere Augen mit Hilfe der Accommodation und der Einstellung der Sehachsen zwei verschiedene Gegenstände zur Empfindung brächten (Gegenstand und Bild).

B. Bewusste Empfindungen.

Gesichtsinn.

Durch das Sehen der eigenen Körperteile verbunden mit Selbstbetastung werden die entsprechenden Associationsfasern bz. Associationszellen gebildet. Ist dies geschehen, nach genügend häufiger Wiederholung jener gleichzeitigen Vorgänge, so werden die Empfindungen zu bewussten. Die neu gebildeten Associationsbahnen stellen die Erfahrung dar. Wird nun das Auge oder werden beide Augen auf die früher oft betastete Körperstelle gerichtet, so funktionieren die entsprechenden optisch reizleitenden Nerven, namentlich gewisse Bestandteile, gewisse Fibrillen derselben. Aus diesen sind nämlich die oben beschriebenen Associationsfasern zu stande gekommen, entsprechende neue Fibrillen haben sich abgeschnürt, von ihnen abgespalten, wie mehrfach gezeigt worden ist. Funktionieren also jene optischen Nerven selber kräftig, so werden dadurch die mit ihnen noch in engster nervöser Verbindung stehenden Associationsfasern, das heisst jene nervösen Fibrillen, welche die Association mit den Tastzellen vermitteln, mit oder ohne das Vorhandensein besonderer Associationszellen, gleichfalls in Erregung versetzt. Diese Erregung entspricht aber der Erinnerung des früheren Vorganges der Selbstbetastung, zugleich

verbunden mit dem Sehen. Auch ohne das Betasten empfindet das Ich vermittelst des Auges fortan die bereits bekannte bestimmte Form. Das Sehen der eigenen Körperteile ist dadurch zu einer bewussten Empfindung geworden. Durch das Auge sieht das Ich für die Folge andere fremde Gegenstände gleichfalls bewusst in bestimmten Formen. Es erkennt runde Formen, eckige Formen, es unterscheidet räumliche, flächenhafte, lineare, punktförmige Gebilde; die Gegenstände erscheinen ihm normalerweise hell oder dunkel, farbig, glänzend oder matt, glatt oder rauh, feucht oder trocken, auch wenn sie zum erstenmal wahrgenommen werden.

Tastsinn.

Auf dem gleichen Wege, unter Benutzung jener gleichen vermittelnden Associationsbahnen, aber von den tastreizleitenden Zellen aus, wird von nun an das Betasten zu einer bewussten Empfindung. Ohne seine Augen zu gebrauchen empfindet das Kind beim Betasten einer Körperstelle die optisch sich ihm darbietende Form derselben, nachdem einmal die entsprechenden Associationsfasern, die die Erfahrung mit sich bringen, gebildet sind. Wird nicht der eigene Körper, sondern ein fremder Gegenstand abgetastet, so bringen die Tastzellen der tastenden Hand bei ihm Tastreize in bestimmter Reihenfolge zur Empfindung. Ist diese Reihenfolge die gleiche, wie beim Betasten bestimmter Stellen des eigenen Körpers, so werden in entsprechender Reihenfolge diejenigen Associationsfasern oder Associationszellen mit in Erregung versetzt, welche die tastreizleitenden und die optisch reizleitenden Nervenzellen zusammen erzeugt haben, dadurch, dass sich von ihnen neue nervöse Zellen, neue reizleitende Fasern oder Fibrillen abschnürten. Demzufolge entsteht beim Betasten jenes fremden Gegenstandes, auch wenn derselbe nicht gesehen wird, im Ich die bewusste Empfindung der dem Auge sich darbietenden Form desselben, analog wie beim Betasten einer bestimmten Stelle des eigenen Körpers. Das Ich erhält gleichsam ein inneres Bild jenes Gegenstandes. Es unterscheidet nunmehr das Ich durch die tastende Hand, durch den tastenden Fuss, auch ohne Mitwirkung des Auges, in bewusster Weise räumliche, flächenhafte, lineare, punktförmige Gebilde, runde Formen,

eckige Formen, glatt und rauh, feucht und trocken. In zweifacher Weise kommen solche Formen, solche Eigenschaften fremder Gegenstände zu bewusster Empfindung, wenn diese zugleich mit den Augen betrachtet und mit den Händen oder mit den Füssen betastet werden.

Aehnliche Entwicklungsvorgänge spielen sich in den nervösen Organen ab, wenn andere Arten reizaufnehmender Zellen zusammenwirken. Für alle Arten reizaufnehmender Zellen werden Beziehungen zu den Reizleitungsbahnen der Tastzellen hergestellt. Es bilden sich entsprechende Associationsfibrillen, Associationszellen aus, welche, sobald sie vorhanden sind, für das beobachtende Ich die Erfahrung repräsentieren, dass der bt. wirksame Vorgang einst statthatte. In dieser Weise entsteht die Erfahrung, dass die Berührung eines heissen Ofens eine übermässige Wärmeempfindung hervorruft, dass ein Schlag auf einen Gegenstand mit einer Schallempfindung verknüpft ist, dass ein Stück Zucker süss schmeckt, dass eine Rose wohlriechenden Duft abgiebt. Wir wollen im folgenden auf solche Vorgänge noch näher eingehen.

Kombination des Gesicht- und des Tastsinns.

Besonders wichtig für die Wahrnehmung fremder Gegenstände sind namentlich die Augen. Mit dem Gesichtsinn treten deshalb alle anderen Sinne in innigste Beziehungen. Zwischen den reizleitenden Nervenzellen des optischen Sinns und denjenigen der übrigen Sinne bilden sich die zahlreichsten Associationsbahnen aus. Das Kind sieht beispielsweise eine Kerzenflamme. Es betastet diese Flamme und verbrennt sich dabei die Hand. Bei diesem Vorgang arbeiten die Nerven, die die bt. Wärmereize von der Hand zum nervösen Zentralorgan leiten, und gleichzeitig die Nerven der Sehzellen, die das Bild der Flamme aufnehmen; namentlich intensiv arbeiten die ersteren. Sie assimilieren, lassen neue Associationsbahnen entstehen. Es bilden sich neue reizleitende Fibrillen, vielleicht bildet sich sogar, wegen der sehr intensiven Wirkung einer Verbrennung, eine besondere Associationszelle, etwa von den tastreizleitenden Zellen aus. Diese Associationszelle reicht in vielfacher Verästelung, nämlich vermittelst ihrer Telodendrien, an alle diejenigen optisch

reizleitenden Nerven, welche das Flammenbild dem Ich übermitteln, zugleich aber auch mindestens an alle diejenigen thermisch reizleitenden Nerven, welche die zu intensive Wärmeempfindung auf das Ich übertragen. Mit solchen Associationsbahnen bz. mit der neu gebildeten Associationszelle ist aber der Begriff der „Flamme, an der man sich verbrennt“ in die Erfahrung aufgenommen, ihrer Form, ihrer Helligkeit, ihrer Farbe nach und ganz besonders bezüglich ihrer Eigenschaft des Verbrennens.

Kommt später eine mehr oder weniger ähnliche Flamme, eine andere Kerzenflamme, eine Petroleumflamme, eine Gasflamme zu Gesicht, so erzeugt sie durch Vermittlung der optisch reizleitenden Nerven eine ähnliche Gesichtsempfindung, wie jene erste Kerzenflamme. Diese optisch reizleitenden Nerven versetzen aber, ihrer eigenen Erregung zufolge, die oben genannte Associationszelle des Verbrennungsvorgangs in um so lebhaftere gleichzeitige Erregung, je ähnlicher die früher und die später gesehene Flamme einander sind. Also wird die Erfahrung, dass eine solche Flamme brennt, wieder in Erinnerung gebracht und gewissermassen aufgefrischt durch das Bild einer neuen Flamme. Das Kind erinnert sich der früheren brennenden Empfindung jedesmal, wenn die bt. Associationszelle erregt wird, und bei jeder Erregung dieser letzteren assimiliert dieselbe, was ihr Wachstum und ihre Kräftigung zur Folge hat.

Ist die zweite Flamme ihrer Art nach so sehr verschieden von der ersten Flamme, dass sie durch ihr Erscheinen im Gesichtsfeld die eben erwähnte Associationszelle nicht genügend zu erregen vermag, so betastet das Kind die zweite Flamme gleichfalls, verbrennt sich an derselben nochmals die Hand. Eine zweite ähnliche Associationszelle wird dadurch für diesen Verbrennungsvorgang hervorgebracht, mit neuen zahlreichen Verzweigungen, mit Associationsfasern von den optisch reizleitenden zu den tastreizleitenden Nerven hin, oder jene erste Associationszelle wird durch das zweite Verbranntwerden doch so stark miterregt, dass sie neue Associationsfibrillen erhält, nach denjenigen optisch reizleitenden Nerven hin, welche die zweite Flamme zur Wahrnehmung bringen. Kommt nun eine dritte Flamme dem Kind zu Gesicht, so ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass es dabei der brennenden Empfindungen der

beiden früheren Flammen sich erinnere, schon eine viel grössere, weil bereits durch zwei verschiedene Flammenformen die Associationszelle des „Verbranntwerdens durch eine Flamme" miterregt werden muss, vermöge jener verschiedenartigen Associationsfibrillen. Die Erfahrung des Kindes wird damit eine reichere. Die Erinnerung an den Vorgang des Verbrennens der Hand durch eine Flamme wird leichter ins Gedächtnis zurückgerufen. Alle weiteren zu Gesicht kommenden Flammen erregen jene Associationszelle des Verbranntwerdens wenigstens in einem Teil ihrer an die optisch reizleitenden Nerven anschliessenden Fibrillen, sei es durch ihre Form, ihre Helligkeit oder ihre Farbe, und es entsteht dadurch die allgemeinere Erfahrung, dass jede Flamme die Hand verbrennen kann.

Zwar wäre wohl eine viel grössere Zahl von wirklichen Verbrennungen nötig, um die Erfahrung in dieser Allgemeinheit genügend zu befestigen, wenn nur während des überaus kurzen Zeitraums der Verbrennung selber neue Associationsfibrillen entstünden. Die Verbrennung ist aber nur der wirksamste von zahlreichen zeitlich aufeinander folgenden Vorgängen. Bei der Annäherung der Hand an die betrachtete Flamme entsteht zuerst eine Wärmeempfindung, die sich nach Massgabe der Annäherung mehr und mehr steigert, bis zu ihrem höchsten Grad, bis zuletzt die Verbrennung thatsächlich erfolgt. Wird also später eine andere Flamme in erreichbare Nähe des Kindes gebracht und greift seine Hand wiederum nach derselben, so wird die Associationszelle, die der früheren Verbrennung zufolge entstanden ist, nicht in beliebiger Weise erregt, sondern in ganz bestimmter Weise, mit allmählicher Steigerung, nach Massgabe der grösseren Annäherung der Hand an die Flamme. Diese gleichmässig gesteigerte Erregung jener Associationszelle erfolgt nämlich, sobald die Hand der neu dargebotenen Flamme genähert wird, durch die entsprechend gesteigerte Erregung derjenigen wärmereizleitenden Nerven, welche bei den früheren Verbrennungen besonders in Mitleidenschaft gezogen wurden. Die genannten wärmereizleitenden Nerven werden somit erregt teils unmittelbar durch die allmählich gesteigerten Wärmereize selber, nach Massgabe der Annäherung der Hand an die neue Flamme, teils mittelbar von der durch die früheren Verbrennungen entstandenen Associationszelle her, vermöge einer gleich-

mässigen Erregung dieser letzteren durch das Betrachten der neuen Flamme. Demzufolge werden die wärmereizleitenden Nervenzellen, schon bevor die neue Verbrennung erfolgt ist, nahezu so stark erregt, wie bei einer früheren wirklichen Verbrennung, bei welcher jene Associationszelle des Verbranntwerdens noch nicht vorhanden war und daher noch nicht erregend mitwirken konnte. Ohne Verletzung der wärmereizaufnehmenden Zellen wird von nun an schon die Verbrennungsempfindung im Ich hervorgerufen. Weil es sich hier um eine neue Flamme handelt, die den früheren Flammen nicht genau gleich, ihnen nur mehr oder weniger ähnlich ist, so hat die durch die Annäherung der Hand an diese neue Flamme hervorgerufene Verbrennungsempfindung die Erinnerung des Ich an eine früher gemachte Erfahrung zur Folge, ohne dass die neue Verbrennung wirklich zu stande kommt. Die Verbrennungsempfindung eilt somit der wirklichen nochmaligen Verbrennung voraus.

Aehnlich verhält es sich mit anderen schmerzhaften Empfindungen. Durch das Stechen an einer spitzen Nadel entsteht die entsprechende Schmerzempfindung, vermittelst der tastreizleitenden Nerven. Wenn nun nach mehrmaligem schwachem oder nach einmaligem sehr empfindlichem Stechen die entsprechenden Associationsfasern bz. Associationszellen gebildet sind und wenn sodann eine ähnliche Nadel gesehen wird, so erweckt schon ihr Bild die Erinnerung an die frühere Erfahrung, dass eine solche Nadel gestochen hat. Wird dann ein anderer Körper, der zwar eine anders geformte, aber doch scharfe Spitze besitzt, an letzterer betastet, so wird vermöge jener Associationsfasern auch bei ihm die Erinnerung, dass das Betasten der Spitze zu schmerzhafter Stechempfindung führt, schon im Ich hervorgerufen, bevor überhaupt ein Stich erfolgt ist. Diese Erinnerung eilt nunmehr dem wirklichen Vorgang des Stechens voraus.

Kombination des Gesicht- und des Gehörsinns.

Der Gesichtsinn tritt in enge Beziehungen zum Gehörsinn. Das Kind sieht eine Glocke, erkennt ihre Form, ihre räumlichen Verhältnisse und ihren Abstand, ohne dieselbe betastet

zu haben, wenn einmal die optisch reizleitenden Nerven durch entsprechende Associationsfasern mit den tastreizleitenden Nerven verbunden sind. Es sieht den Klöppel der Glocke hin und her schwingen, da und dort gegen die Glockenwand schlagen. Durch einen Schlag auf eine Stelle seines eigenen Körpers hat das Kind früher die Erfahrung gemacht, dass eine rasche Bewegung, die zum Zusammenstoss zweier Gegenstände führt, die Entstehung eines Geräusches, eines Schalles zur Folge hat. Diese Erfahrung geht aus der Bildung entsprechender Associationsfasern oder einer Associationszelle für den eben genannten Gesamtvorgang hervor, welche — abgesehen von den in Betracht kommenden tastreizleitenden Nerven — ihre Nervenfibrillen zum Teil aus optisch, zum Teil aus akustisch reizleitenden Nerven abgespalten hat. Dieselbe Erfahrung macht das Kind beim Zusammenschlagen zweier fremder Gegenstände. Entsteht nämlich gleichzeitig mit diesem Zusammenschlagen ein Schall, so werden die die Bewegung beider Gegenstände und die den Schall zur Empfindung bringenden Nerven erregt. Dadurch wird aber jene soeben erwähnte Associationszelle für die früher empfundene Bewegung, die mit einem Schall endete, gleichfalls erregt; somit wird die Erinnerung an jenen Vorgang der Schallerzeugung durch einen Zusammenstoss hervorgerufen. Die beiden oben erwähnten auf die fremden Gegenstände sich beziehenden Vorgänge der Bewegung und der Schallabgabe werden daher miteinander in Verbindung gebracht, weil der früher gemachten Erfahrung gemäss die rasche Bewegung eines Körpers gegen einen anderen bis zum Zusammenstoss auch einen Schall bewirkt hat. Die Erfahrung des Kindes erweitert sich demnach durch Bildung einer neuen Associationszelle für die Schallerzeugung durch den Zusammenstoss von fremden Gegenständen oder zum mindesten durch Bildung neuer Associationsfasern für diesen Vorgang.

Sieht nunmehr das Kind die bewegte Glocke, und hört es zugleich einen Ton, jedesmal dann, wenn Klöppel und Glockenwand zusammenstossen, so bildet sich bei genügender Wiederholung dieser Vorgänge zwischen den optisch reizleitenden und den akustisch reizleitenden Nervenzellen eine Associationszelle aus, zahlreichen Associationsbahnen entsprechend, mit ungemein vielfacher Verzweigung in Fibrillen nach allen in Mitleiden-

schaft gezogenen optischen und akustischen Nervenzellen hin. Diese Associationszelle repräsentiert für das Ich die Erfahrung, dass die bewegte Glocke tönt, und durch sie kann, wenn sie erregt ist, einerseits das Glockenbild hervorgerufen werden, ohne Sehen, nur durch das Hören der Glocke allein; andererseits kann durch sie der Glockenton in Erinnerung zurückgerufen werden, nur durch das Sehen des bewegten Klöppels oder der bewegten Glocke ohne sichtbaren Klöppel oder sogar nur durch das Sehen der ruhenden Glocke allein.

Mit noch grösserer Sicherheit wird der gehörte Ton auf die gesehene schwingende Glocke bezogen, wenn einmal das Kind die Erfahrung gemacht hat, dass ein lichtausstrahlender, dass ein wärmeabgebender Gegenstand um so stärkere Reize ausübt, je näher derselbe an das Auge, an die tastende Hand gebracht wird. Bestehen nämlich bereits Associationszellen zwischen optischen oder wärmereizleitenden Nerven und akustisch reizleitenden Nerven, irgend welchen früher eingetretenen Beziehungen zwischen denselben entsprechend, so werden auch die genannten Associationszellen um so stärker erregt, je stärker jene Nerven erregt werden. Die Erfahrung des Stärkerwerdens der Reize infolge der Annäherung des Gegenstandes, von dem die Reize herrühren, kann durch solche Associationszellen übertragen werden von den optischen oder den wärmereizleitenden auf die akustisch reizleitenden Nerven. Vernimmt also das Kind den Schall um so stärker, je mehr die gesehene Glocke seinem Kopfe genähert wird, so erinnert sich dasselbe, dass die allmähliche Steigerung der Erregung seiner reizleitenden Nerven mit der Annäherung des Gegenstandes verbunden ist, von dem die Reize ausgehen, und es verlegt um so mehr den Ursprung des Schalls in die gesehene Glocke.

Nur in geringem Grad unterstützt uns bei der Bestimmung des örtlichen Ursprungs eines Schalls die Fähigkeit unseres Ohrs, die Richtung des ankommenden Schalls und die Entfernung der Schallquelle zu beurteilen, weil diese Fähigkeit bei den Menschen in der Regel sehr wenig ausgebildet ist. Zwar hilft der Umstand, dass wir zwei Ohren besitzen, aus denen die akustisch reizleitenden Nerven getrennt zum nervösen Zentralorgan verlaufen, einigermassen zu akustischen Richtungs- und Ortsbestimmungen; er hilft aber nur unbedeutend, weil unsere

beiden Ohren fast ausschliesslich zusammen arbeiten. Demzufolge sind die einander entsprechenden akustisch reizleitenden Nerven und Nervenfibrillen beider Ohren im Gehirn durch Associationsfasern wohl noch inniger miteinander verbunden, als die einander entsprechenden optisch reizleitenden Nervenfibrillen beider Augen. Noch weniger als bei den Augen sind wir daher im allgemeinen bei den Ohren uns bewusst, ob wir mit einem oder mit beiden Organen empfinden und mit welchem Organ im ersten Fall die Empfindung thatsächlich zu stande kommt. Durch Uebung könnten übrigens solche Fähigkeiten leicht weiter entwickelt werden.

Empfindungen musikalischer Klänge.

Das Gehörorgan des normalen Kulturmenschen entwickelt sich mit dem Heranwachsen durch Differenzierung aller schallaufnehmenden und schallleitenden Zellen in einer Weise, dass dasselbe zu einem unserer feinsten Sinnesorgane wird, weshalb wir auf dieses Organ noch ganz besonders eingehen müssen. Das Ohr nimmt ungemein viele Töne wahr, von sehr tiefen Tönen bis zu sehr hohen, Töne, welche sehr stark, und solche, welche überaus schwach sind. Wie aber das Auge zwei, drei, vier oder nahezu beliebig viele Punkte, nämlich einen grossen Teil eines komplizierten Körpers oder selbst den ganzen Körper gleichzeitig sieht, so kann das Ohr zwei, drei, vier und noch viel mehr Töne gleichzeitig hören. Wirkt beim Hören verschiedener gleichzeitiger Töne jeder besondere Ton auf eine besondere schallaufnehmende Zelle erregend ein, so wird demnach ein Tongemisch im Ohr in seine Einzeltöne zerlegt; jeder Einzelton wird gesondert empfunden. Uebrigens werden vom Ohr sogar Töne vernommen, welche als solche eigentlich gar nicht erzeugt worden sind, die sg. Kombinationstöne, auf welche namentlich v. Helmholtz aufmerksam gemacht hat.

Hört das Kind zwei gleichzeitige Töne besonders häufig, zb. die beiden Töne von Oktaven, Quinten, Quarten, Terzen, so arbeiten die bt. akustisch reizleitenden Nerven entsprechend oft zusammen, sie assimilieren zusammen. Neue reizleitende Fibrillen schnüren sich von ihnen ab, und es bilden sich Associationsbahnen für die Oktavverbindungen unter allen akustisch

reizleitenden Nerven, ebensolche für die Quint-, für die Quart-, für die Terzverbindungen. Es bilden sich in dieser Weise auch Associationsbahnen für noch weniger einfache Verbindungen zweier oft zusammengehörter Töne. Solche Associationsbahnen zwischen zwei reizleitenden Nervenzellen sind schon hergestellt, wenn nur jeweilen eine einzige nervöse Fibrille, eine Associationsfibrille von der einen zur anderen Nervenzelle entstanden ist. Ebenso bilden sich Associationsbahnen für drei gleichzeitig gehörte Töne, für den Dreiklang, oder für andere Kombinationen von drei Tönen, Associationsbahnen für vier gleichzeitig gehörte Töne, wie für den Vierklang. Es bilden sich Associationsbahnen aus für noch viel kompliziertere Tonverbindungen.

Jedes musikalische Instrument lässt ausser dem Grundton, der mit demselben hervorgebracht wird, noch eine gewisse Anzahl von Obertönen erkennen. Teils sind dies harmonische Obertöne, die einfachen Konsonanzverhältnissen mit dem Grundton und miteinander entsprechen, wie Oktaven, Quinten, Quarten, Terzen usf., teils sind es unharmonische Obertöne, die den Dissonanzen entsprechen. Anzahl, Art und Intensität der durch ein musikalisches Instrument hervorgebrachten Obertöne bedingt bekanntlich die Klangfarbe desselben.

Hört nun das Kind ein und dasselbe Instrument zu wiederholten Malen, so bilden sich für die Klangfarbe, die bei jedem einzelnen Ton vermittelst dieses Instruments hervorgebracht wird, besondere Associationsbahnen aus. Werden die entsprechenden Associationsfasern später in irgend einer Weise wieder erregt, so erinnert sich das Kind der früher gehörten gleichen Tonverbindungen. Denn diese Associationsfasern repräsentieren für das Ich die Erfahrung, gewissermassen das Gedächtnis an früher aufgenommene Empfindungen. Ist also das Instrument, das die bt. Klangfarbe hervorbringt, vom Kind seiner Form nach gleichzeitig wie seiner Klangfarbe nach in die Erinnerung aufgenommen worden, sei jenes vermittelst des Auges oder vermittelst eines Tastorgans geschehen, so haben sich von den akustisch reizleitenden Nerven auch nach den optisch bz. nach den tastreizleitenden Nerven entsprechende Associationsbahnen gebildet. Für ein genügend häufig empfundenes musikalisches Instrument entsteht eine besondere Associationszelle, die von so vielen optisch bz. tast-, sowie akustisch reizleitenden Nerven Fibrillen,

das heisst Associationsfasern abgeschnürt hat, dass ihre Telodendrien aufs reichste sich nach den genannten Nerven hin verzweigen, wie wir Aehnliches schon weiter oben genauer erläutert haben (S. 55). Wird also ein solches Instrument von uns gesehen, so wird dadurch die ihm entsprechende Associationszelle, es werden die bt. Associationsfasern erregt, die das Bild des Instruments und seine Klangfarbe miteinander verbinden, und wir erinnern uns der Klangfarbe der Töne des gesehenen Instruments, ohne solche wirklich zu hören. Oder wir können uns das optische Bild des Instruments vorstellen, wenn wir die Töne desselben hören, ohne das Instrument selber wirklich zu sehen. Denn durch die Zahl, die Art und das Intensitätsverhältnis der gleichzeitig gehörten Töne, des Grundtons und der zugehörigen Obertöne, wird in unserem nervösen Zentralorgan ein bestimmtes Klangbild erzeugt, einer bestimmten Klangfarbe entsprechend. Mit diesem hängt aber bereits eine bestimmte Associationszelle zusammen, die dasselbe Klangbild schon öfters hervorgebracht hat. Die Associationszelle selber steht durch ihre Fibrillen in der Weise mit optisch reizleitenden Nerven in Verbindung, dass wir, wenn sie erregt ist, das Bild des Instruments gleichsam mit geistigem Auge zu sehen glauben, auch wenn wir das Instrument nicht wirklich sehen.

Bei Kulturmenschen, insbesondere bei den musikalischen unter ihnen, sind solche Associationszellen in reichstem Masse ausgebildet. Fast jeder Mensch unterscheidet und kennt die verschiedenen Klangfarben und Klangbilder der menschlichen Singstimme, der Singstimmen der Vögel, der Saiteninstrumente, der Blasinstrumente. Der Mensch, dessen Ohr weiter ausgebildet ist, kennt die Art des Gesangs verschiedener Menschen; er unterscheidet die Vogelarten nach ihrem Gesang; er weiss, wenn er Saiteninstrumente hört, ob bei denselben die Saiten gestrichen oder gezupft oder mit einem Hammer angeschlagen werden; er unterscheidet die Holzblasinstrumente von den Blechinstrumenten. Beim musikalischen Menschen gelangen noch feinere Unterschiede wie diejenigen zwischen Geige, Viola, Cello, Kontrabass, oder Unterschiede zwischen Flöte, Klarinette, Oboe, Fagott, oder Unterschiede zwischen verschiedenen Trompeten, Hörnern und Posaunen zur bewussten Wahrnehmung, und sind solche Instrumente öfters einzeln von ihm gehört worden, so erkennt

er für die Folge sofort nach dem gehörten Ton bz. nach seiner Klangfarbe die Art des bt. tönenden Instruments. Denn für jedes von diesen genügend oft empfundenen Instrumenten ist eine besondere Associationszelle in seinem nervösen Zentralorgan entstanden, mit reichen, seiner Klangfarbe entsprechenden Verzweigungen nach akustisch reizleitenden Nerven und mit reichen, seinem Bild entsprechenden Verzweigungen nach optisch reizleitenden Nerven hin. Wird diese Associationszelle in irgend einer Weise erregt, so wird dadurch das Bild des Instruments, es wird aber auch die Klangfarbe seiner Töne in die Erinnerung zurückgerufen. Ein musikalischer Mensch unterscheidet bei einer Musikaufführung von Chor und Orchester trotz überaus zahlreicher, gleichzeitig gehörter Töne doch noch genau die Töne der einzelnen Chorstimmen, der Geigen, der Celli, der Flöten, der Fagotte usf.; er hört, ob in einem Orchester nur Streichinstrumente oder auch Blasinstrumente zur Verwendung kommen. Der sehr musikalische Mensch (und der Kenner) unterscheidet verschiedene Instrumente gleicher Art ihrer Güte, ihrem Werte nach, wenn er kaum mehr als einige wenige Töne derselben gehört hat.

Empfindungen von Geräuschen.

Das menschliche Ohr ist noch viel merkwürdigerer Leistungen fähig. Es nimmt nämlich nicht nur Töne wahr, die durch Luftschwingungen ganz bestimmter Perioden auf seine Teile, insbesondere auf das Trommelfell, übertragen werden, sondern auch Geräusche, die durch ganz unregelmässige, rasch aufeinanderfolgende Lufterschütterungen das Trommelfell treffen. Ein Geräusch besteht teils aus mehreren äusserst kurz dauernden und unmittelbar aufeinanderfolgenden bz. gleichzeitig erklingenden Tönen, teils liegen ihm ganz unregelmässige Schwingungsbewegungen zu Grunde, die man wohl nicht mehr auf Töne beziehen kann, weil sie keine Periodizität aufeinanderfolgender Schwingungen erkennen lassen. Jedes musikalische Instrument lässt neben den reinen Tönen noch solche Geräusche entstehen. Sehr auffallend sind die letzteren zb. bei Geigen, bei denen man das Streichen des Bogens auf den Saiten hört, bei Trompeten, bei denen das schmetternde Geräusch unregelmässig mitschwingender

Blechteile charakteristisch zur Geltung kommt. Solche Geräusche vervollständigen das Klangbild, das das musikalische Instrument in unserem nervösen Zentralorgan hervorbringt.

Von denjenigen Gehörzellen, von welchen jede lediglich für die Aufnahme eines bestimmten Tones eingerichtet ist, wird jede nur eine äusserst kurze Zeit erregt, durch Schwingungen, die zu wenig zahlreich verlaufen, um eine bestimmte Periode zu besitzen. Es ist gewissermassen nur eine einzige Schwingung, nur ein Wellenberg und ein Wellenthal, die zusammen eine Art Stosswirkung auf die bt. akustisch reizaufnehmende Zelle ausüben. Von allen vorhandenen solchen Zellen wird diejenige verhältnismässig am stärksten gereizt, die auf Schwingungen von der jener einzigen Schwingung zugehörigen Wellenlänge besonders resoniert. Demzufolge geht bei einem Geräusch die Erregung in kürzester Zeit durch eine grosse Zahl verschiedener akustisch reizaufnehmender Zellen hindurch, von Zellen, welche niedrigen Tönen, zu Zellen, welche hohen Tönen entsprechen, oder umgekehrt, oder solche Uebergänge erfolgen in bestimmter Abwechslung.

Wird ein und dasselbe Geräusch in gleicher Weise oft genug gehört, so entsteht für dasselbe eine Associationszelle mit Associationsbahnen, das heisst mit nervösen Fibrillen zu allen von einer entsprechenden Erregung betroffenen akustisch reizleitenden Nerven, eine Associationszelle mit reich verzweigten Telodendrien, und diese Zelle bringt, wenn sie in irgend einer Weise erregt wird, im Ich das Klangbild jenes Geräusches hervor, falls wir auch bei einem Geräusch von seinem Klangbild sprechen wollen. In solcher Weise entstehen in unserem nervösen Zentralorgan für zahlreiche Geräusche sehr komplizierte Associationszellen. Werden diese nachher wieder erregt, so lassen sie im Ich die Klangbilder der zugehörigen Geräusche entstehen. Für den Schlag eines Hammers auf den Amboss, für das Rollen eines vorbeifahrenden Wagens, für das Zerspringen und Zersplittern eines zur Erde fallenden Glases, für zahlreiche andere Geräusche haben sich mehr oder weniger bestimmte Klangbilder in uns festgesetzt, deren wir uns jedesmal erinnern, wenn ein gleiches Geräusch wiederum erzeugt wird. Sollen solche Klangbilder mit Sicherheit in der Erinnerung festsitzen, so müssen Associationszellen oder doch zum mindesten

reichliche Associationsfasern für sie alle entstanden sein. Wenn nun späterhin ein Geräusch vernommen wird, das einem früher vernommenen nur ähnlich, nicht gleich ist, so erregt das spätere Geräusch die dem früheren Geräusch zukommende Associationszelle um so weniger, je geringer jene Aehnlichkeit ist, und durch die Stärke dieser Erregung gelangt der höhere oder niedrigere Grad der Aehnlichkeit beider Geräusche zu unserer bewussten Wahrnehmung.

Sprache.

In unserer Erinnerung setzen sich ferner fest, durch entsprechend gebildete Associationszellen oder Associationsfasern, die Klangbilder der Geräusche, die von den uns bekannten Tieren, beispielsweise von den Haustieren, ausgehen. Das Kind erkennt bald das Bellen des Hundes, das Miauen der Katze, das Wiehern des Pferdes, das Zwitschern des Vogels. Es bilden sich in seinem nervösen Zentralorgan Associationszellen aus für alle Geräusche, die von den Menschen seiner Umgebung häufig genug hervorgebracht werden. Unter diesen Geräuschen zeichnen sich durch ihre ganz hervorragende Bedeutung für den menschlichen Verkehr die Laute der Sprache aus, also die Vokale und die Konsonanten, vermittelst derer durch Aneinanderreihung derselben die Wörter gebildet werden. Für jeden Vokal, der vom Kind oft genug gehört worden ist, hat sich in seinem nervösen Zentralorgan eine besondere Associationszelle ausgebildet. Diese Associationszelle lässt normalerweise im Lauf der weiteren Entwicklung auch noch Ausläufer ihrer Telodendrien entstehen nach allen denjenigen akustisch reizleitenden Nervenzellen hin, die bei verschiedenen dem Kind bekannten Personen die Klangfarbe ihrer Stimme durch Grundton mit Obertönen und Nebengeräuschen zur Empfindung bringen. Für jeden Konsonant entsteht gleichfalls eine besondere Associationszelle.

Werden verschiedene Laute, Vokale und Konsonanten, in bestimmter Reihenfolge zu einem Wort vereinigt, öfters vom Kind gehört, so arbeiten die bt. Associationszellen der Vokale und der Konsonanten öfters gleichzeitig, sie assimilieren und sie wachsen gleichzeitig. Durch Teilung schnürt sich eine neue Associationszelle von ihnen ab, die alle jene Associationszellen

durch Fibrillen miteinander verbindet. Diese Associationszelle repräsentiert nun für das Ich des Kindes das öfters gehörte gleiche Wort. Jede weitere Erregung derselben erweckt im Kind die Erinnerung an dieses Wort. Wird somit das bt. Wort wiederum gehört, nach Bildung der zugehörigen Associationszelle, so wird letztere neuerdings erregt und das Kind erinnert sich, dass ihm dieses Wort bereits genannt worden ist.

Für jeden Gegenstand, den wir sehen oder hören oder sonst mit Sinnen öfters wahrnehmen, haben wir ein Wort gebildet, mit dem wir denselben benennen. Nun wird dem Kind beim Nennen eines solchen Namens der bt. Gegenstand in der Regel gezeigt oder etwa durch denjenigen Sinn, vermittelst dessen der Gegenstand wahrgenommen werden kann, zur Empfindung gebracht. Es arbeiten also die Associationszellen, die die Erinnerung an die benutzten Laute des Wortes übermitteln, zugleich mit den reizleitenden Nerven, die den Gegenstand selber zur Empfindung bringen, sei es vermittelst dieses oder vermittelst jenes Sinnes. Demnach entsteht eine neue Associationszelle infolge des gleichzeitigen Arbeitens und Assimilierens der vielen verschiedenen genannten Zellen, und diese neue Zelle hält nicht nur das gehörte Wort allein, sondern zugleich auch den sinnlich wahrgenommenen Gegenstand selber, der durch das Wort gekennzeichnet werden soll, in der Erinnerung zurück. Empfindet also das Kind späterhin mit seinem bt. Sinn jenen Gegenstand, so wird die eben erwähnte zugehörige Associationszelle erregt und es erinnert sich dadurch das Kind des Wortes, das den Gegenstand benennt. Wird umgekehrt dieses Wort von ihm gehört, so erinnert sich das Kind des Gegenstandes, der durch das Wort benannt wird.

Schrift.

Fast bei allen Kulturvölkern ist für jeden Laut ein besonderes Zeichen eingeführt worden, ein Schriftzeichen, das man in irgend einer Weise vermittelst einer passenden Zeichnung dem Auge wahrnehmbar macht. In der Schule wird der Laut vorgesprochen und zugleich das Schriftzeichen desselben dem Kind gezeigt. Die Associationszelle, die bis dahin den Laut selber in der Erinnerung des Kindes festgehalten hat, und alle

optisch reizleitenden Nerven, die zur Wahrnehmung des Schriftzeichens nötig sind, arbeiten gleichzeitig; sie assimilieren, vergrössern und teilen sich. Die ursprüngliche Associationszelle des Lautes erweitert sich durch neu gebildete Telodendrien nach jenen optisch reizleitenden Nerven hin, oder es bildet sich eine neue Associationszelle, die den Laut und sein Schriftzeichen gleichzeitig in der Erinnerung zurückhält. Hört das Kind von nun an den Laut aussprechen, so sieht es auch das Schriftzeichen desselben gleichsam mit geistigem Auge vor sich, oder sieht es umgekehrt dieses Schriftzeichen wirklich mit seinen Augen, so empfindet es zugleich das Klangbild, das mit dem zugehörigen Laut verbunden ist, es hört gleichsam mit geistigem Ohr den bt. Laut.

Für Wörter, die dem Menschen in der Schrift oft genug vor Augen geführt worden sind, müssen besondere Associationszellen entstanden sein. Bevor dies erreicht war, musste das Wort vermittelst Lesens seiner einzelnen Schriftzeichen buchstabiert werden. Ist aber einmal die zugehörige Associationszelle gebildet, so genügt in der Regel ein kurzer Blick auf das geschriebene Wort, um dieselbe zu erregen und um das ganze Wort in seiner richtigen Bedeutung erkennen zu lassen. Die Wörter werden schon durch die besonders charakteristischen unter ihren Schriftzeichen zu unserer Empfindung gebracht, wenn wir sie sehr häufig lesen. So schnell werden solche durch ihre Schriftzeichen dem Auge dargestellte Wörter in ihrer Bedeutung von uns erfasst, dass das Lesen derselben viel schneller als das Sprechen erfolgen kann, und dass beim Korrigieren, etwa einer gedruckten Arbeit, Buchstabenfehler leicht übersehen werden, wenn nur diejenigen Buchstaben des Wortes an der richtigen Stelle stehen, durch die das bt. Wort hauptsächlich gekennzeichnet ist. Die zugehörige Associationszelle des Wortes wird in diesem wie auch in anderen Fällen schon durch die Aehnlichkeit der wichtigeren Merkmale des gesehenen Bildes mit dem richtigen Wortbild erregt. Wenn sodann nicht mit besonderer Sorgfalt die Uebereinstimmung aller Merkmale jener beiden Wortbilder festgestellt wird, so lässt sich das Ich durch die vermeintliche Uebereinstimmung täuschen.

Kombination des Gesicht- und des Geschmacksinns.

In einfacherer Weise werden wohl die Beziehungen zwischen dem Gesichtsinn und dem Geschmacksinn hergestellt, weil hier schliessliche Berührung, also wirkliches Betasten mit dem Munde, mit Lippen und Zunge erfolgt. Speisen, die in gleicher Art mehrmals genossen werden, bringen Gesichtsinn, dann Tastsinn und Geschmacksinn in innige Beziehungen zu einander. Es bilden sich entsprechende Associationsbahnen, es entstehen neue Associationszellen. Eine Speise, die nur gesehen wird, kann sodann in uns schon die zugehörige Geschmacksempfindung hervorrufen. Wird sie mit der Zunge betastet, so erzeugt sie unter Umständen gleichfalls die entsprechende Geschmacksempfindung. Die zugehörigen neu entstandenen Associationsfasern bz. die neue Associationszelle entsprechen einem Erinnerungsbild der Speise. Eine Kirsche auf der Zunge eines Menschen, der früher schon oft Kirschen gegessen hat, wird in seiner Erinnerung nicht nur gesehen, gleichsam mit geistigem Auge, sondern unter Umständen wird sie auch geschmeckt, bevor sie zerdrückt ist, bevor ihr Saft die Geschmackszellen erreicht hat.

Kombination des Gesicht- und des Geruchsinns.

Der Gesichtsinn wird mit dem Geruchsinn ähnlich verbunden, wie mit dem Gehörsinn. Eine riechende Blume wird der Nase des Kindes genähert. Die Annäherung derselben ist mit einer Steigerung der Geruchsempfindung verbunden. Nach Massgabe der Annäherung riecht das Kind die Blume besser und es bringt, wenn einmal verschiedene Associationsbahnen von den Geruchszellen nach anderen Sinneszellen hin gebildet sind — vermöge der mit diesen anderen Sinnen gemachten Erfahrung — die Verstärkung des Geruchs mit der Annäherung (vgl. S. 57) der Blume, also den Geruch mit der Blume selber in Beziehung. Es verlegt den Ursprung des Geruchs in die Blume. Hat es einen bestimmten Geruch einer bestimmten betrachteten Blume oft genug empfunden, so wird ihm der blosse Geruch derselben, ohne Sehen, das Bild der Blume in die Er-

innerung zurückrufen. Denn der häufige Zusammenhang des Blumenbildes mit dem Geruch der Blume hat zur Entstehung einer bezüglichen neuen Associationszelle geführt. Diese Zelle wird durch jeden gleichartigen Geruchsreiz erregt und sie hat dadurch im Ich die Erinnerung an die riechende Blume zur Folge. Nur durch ihren Geruch allein wird schon das Bild der Blume in unserer Erinnerung hervorgerufen. Seltener scheint die Fähigkeit ausgebildet zu sein, dass das Bild einer Blume auch den bestimmten Geruch derselben in unserem Ich zur Empfindung bringen kann. Solchen verschiedenen Fähigkeiten entsprechend ist ohne Zweifel die Verkettung der bt. Associationszelle mit den geruchreizleitenden bz. mit den optisch reizleitenden Zellen eine wesentlich verschiedene.

Systeme aus vielen Associationszellen.

Wenn wir bis dahin immer von Associationsbahnen gesprochen haben, welche nur durch Associationsfasern oder durch ganze Associationszellen hergestellt werden, so waren darunter im ersteren Fall einzelne nervöse Fibrillen, die nervöse Zellen der einen Art mit nervösen Zellen ganz anderer Art verbinden, im letzteren Fall aber vollständige nervöse Zellen verstanden, die die genannten Verbindungen bewirken. Bei einem einmaligen etwas kräftigeren Zusammenwirken zweier nervöser Zellen werden sich nur einzelne nervöse Fibrillen, unter Umständen nur solche von molekularen Durchmessern (I, S. 80) bilden, Fibrillen, welche untereinander bz. mit den Zellen, die sie verbinden sollen, in Zusammenhang treten, ohne dass sie deswegen von ihren Mutterzellen völlig sich abschnüren, ohne dass sie von ihnen getrennt, etwa in parallelen Bahnen verlaufen müssen. Je stärker oder anhaltender aber das Zusammenwirken zweier nervöser Zellen ist, um so dickere nervöse Fibrillen bilden sich zwischen ihnen aus. Schliesslich, bei sehr häufigem und kräftigem Zusammenwirken derselben entsteht zwischen ihnen eine ganze Associationszelle. Sind aber sehr viele und ganz verschiedenartige nervöse Zellen gleichzeitig häufig genug wirksam, so können aus ihnen entsprechend kompliziertere neue Gebilde entstehen, nämlich Systeme aus zwei, drei und mehr Associationszellen für denselben Vorgang, so dass

diese alle erregt werden müssen, um den gesamten Vorgang in unsere Erinnerung zurückzurufen. Wenn zb. ein Gegenstand, etwa die Mutter, zum Kind immer und immer wieder in Beziehung tritt, wenn nach und nach so ungemein vielfache Beziehungen der Mutter zum eigenen Ich des Kindes entstehen, dass eine einzige Associationszelle die entsprechend reichen Verzweigungen ihrer Telodendrien nicht mehr hervorzubringen oder die regelrechte Ernährung derselben nicht mehr aufrecht zu erhalten vermag, so bilden sich für jene Beziehungen zwei, drei, vier oder mehr Associationszellen, durch Abschnürung von anderen Zellen mit nunmehr stärker arbeitenden Fibrillen. Diese Associationszellen differenzieren sich untereinander, so dass die eine von ihnen mehr die Beziehungen der einen Art, die andere mehr die Beziehungen der anderen Art zwischen Mutter und eigenem Ich des Kindes aufrecht erhält.

Zeitunterscheidung.

Bei den bis dahin beschriebenen komplizierteren Wirkungen, die auf das Ich ausgeübt werden, sind es vielfach ganze Empfindungskomplexe gewesen, welche jeweilen gleichsam als ein geschlossenes einheitliches Ganzes dem Ich übermittelt wurden. Ein wichtiger Unterschied lässt sich aber bei solchen Empfindungskomplexen noch feststellen: im einen Fall wirken alle Reize genau gleichzeitig auf das Ich ein, im anderen Fall haben wir eine ganze Reihe von zeitlich mehr oder weniger rasch aufeinanderfolgenden Wirkungen, die namentlich in ihrer Gesamtheit als Empfindung aufgenommen und auf das Ich übertragen werden. Wird mit den Augen ein ruhender Gegenstand fixiert, oder wird ein Accord, ein Klang gehört, so sind es viele, unter Umständen sehr zahlreiche reizaufnehmende bz. reizleitende Nerven, die gleichzeitig in Wirksamkeit treten. Wird dagegen ein bewegter Gegenstand, etwa ein fliegender mit seinen Flügeln schlagender Vogel, mit den Augen verfolgt, oder wird ein vorbeifahrender Wagen, eine rasche Aufeinanderfolge von Tönen oder ein Wort gehört, so folgen zahlreiche Nervenerregungen zeitlich aufeinander. Es ist klar, dass im ersteren Fall, bei gleichzeitiger Erregung aller Nerven, welche Reize auf das nervöse Zentralorgan übertragen, und aller Nerven

des Zentralorgans, welche gereizt werden, in verhältnismässig einfacher Weise alle diese Nerven durch ihr gleichzeitiges Arbeiten assimilieren und entsprechende Associationszellen entstehen lassen, wie wir dies früher schon einlässlich besprochen haben (S. 35). Etwas anders müssen aber die Vorgänge sich abwickeln bei zeitlich einander folgenden Reizwirkungen. Wir wollen von unserem physikalischen Standpunkt aus den bt. Verhältnissen näher zu treten suchen.

Zwei Punkte a und b (Fig. 4), die sich in einem homogenen Medium befinden, mögen in irgend einer Weise gleichzeitig und gleichmässig gereizt werden und die beiden Reize mögen sich in diesem Medium mit bestimmter Geschwindigkeit fortpflanzen. Weil das Medium homogen ist, muss die Fortpflanzungsgeschwindigkeit beider gleicher Reize die gleiche sein und sie muss auch nach allen möglichen Richtungen dieselbe sein. Daher müssen alle Punkte einer Ebene E E, die in der Mitte der Verbindungslinie a b beider Punkte senkrecht zu derselben errichtet wird, in gleichen Augenblicken von beiden Reizquellen her gereizt werden. Diese Punkte müssen also in den bt. Augenblicken stärker erregt werden, als alle ausserhalb der Ebene liegenden ihnen nächst benachbarten Punkte.

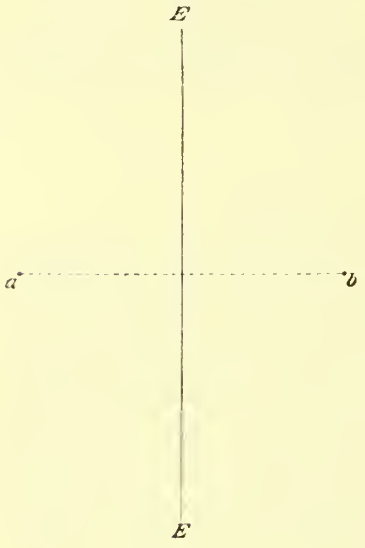


Fig. 4.

Werden dagegen die beiden Punkte a und b in ungleichen Zeitpunkten gereizt, so liegt derjenige Punkt ihrer Verbindungslinie, der die beiden von a und b ausgehenden Reize zugleich erhält, näher an dem später gereizten Punkt als an dem früher gereizten, somit beispielsweise näher an b als an a (Fig. 5). Konstruieren wir dann für jeden Augenblick die beiden Kugelflächen um a bz. um b, bis zu denen die bt. Reize sich bereits fortgepflanzt haben, so schneiden sich diese Kugelflächen in

Kreisen, die auf einem Rotationshyperboloid liegen, wie es die Fig. 5 andeutet. Alle Punkte dieses Rotationshyperboloids werden von beiden Reizen, die von a und von b ausgehen, in gleichen Augenblicken getroffen und sie werden daher durch die Summe der beiden Reize im bt. Augenblick stärker erregt, als alle ihre Nachbarpunkte, die nicht im Rotationshyperboloid liegen.

Unsere geometrische Betrachtung können wir nun im vorliegenden Fall nutzbringend verwerten. Freilich liegen die Ver-

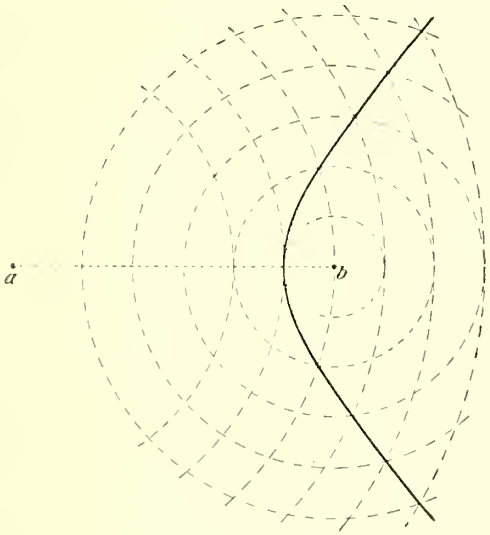


Fig. 5.

hältnisse bei unserem nervösen Zentralorgan, das die Reize aufnehmen soll, ganz anders. Hier haben wir nicht ein homogenes Medium vor uns, in dem sich Reize nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit ausbreiten, sondern umgekehrt ein äusserst unhomogenes Medium. Das nervöse Zentralorgan besteht namentlich aus zahlreichen nervösen Fibrillen, welche scheinbar ganz willkürlich, das heisst wie es eben die embryonale und die postembryonale Entwicklung mit sich bringt, verlaufen und welche im wesentlichen nur in der Richtung ihres eigenen Verlaufs Reize weiter leiten; überdies hängen diese Fibrillen da und dort miteinander zusammen, in ganz unregelmässig verteilten Punkten, in den zahlreichen nervösen Haupt- und Nebenzentralstellen.

Aus unseren Ueberlegungen geht aber folgendes mit Sicherheit hervor: Wenn zwei an verschiedenen Körperstellen befindliche Nervenenden a und b gleichzeitig gleich gereizt werden, so müssen die Reize, die sich längs dieser Nerven und sodann längs der Fibrillen des nervösen Zentralorgans fortpflanzen, in einer ganz bestimmten nervösen Zelle des Zentralorgans sich treffen und diese Stelle besonders stark erregen; wenn aber jene beiden Reize ungleichzeitig erfolgen, so wird eine andere Zelle des nervösen Zentralorgans, eine andere Stelle derselben diejenige sein, welche beide Reize im gleichen Augenblick erhält. Eine Zelle aber, die von zwei Seiten gleichzeitig Reize erhält und dadurch stärker erregt wird, als alle anderen sonst gleichen benachbarten Zellen, assimiliert stärker als letztere. Denn es können beispielsweise beide Reize einzeln genommen so schwach sein, dass sie die Reizschwelle (vgl. I, S. 162) eben noch nicht erreichen, während ihre Summe die Reizschwelle bereits überschreitet. Jeder einzelne Reiz wird dann gar keine Assimilation hervorbringen, nur ihre Summe ist im stande dies zu erreichen. Von derjenigen Zelle, die beide Reize gleichzeitig erhält, spaltet sich demzufolge eine neue Zelle, die für den bt. Vorgang zu einer Associationszelle wird, leichter ab als von allen anderen benachbarten Zellen.

Aehnlich verhält es sich, wenn drei an verschiedenen Körperstellen befindliche Nervenenden zu verschiedenen Zeiten gereizt werden. Auch von ihnen pflanzen sich alle drei Reize ins nervöse Zentralorgan fort, und es wird nun in diesem unter Umständen eine gewisse Zelle, eine gewisse Stelle derselben geben können, in der alle drei Reize gleichzeitig ankommen. Von einer solchen Zelle spaltet sich dann am leichtesten eine Associationszelle ab, die den bt. Vorgang, wenn er häufig genug wiederholt worden ist, im Gedächtnis festhält.

Analoges können wir uns vorstellen, wenn vier, fünf und mehr Reize in verschiedenen Zeitpunkten von gewissen verschiedenen Körperstellen ausgehen. Je mehr solcher ungleichzeitiger Reize zu einem bestimmten Vorgang gehören, um so weniger wird aber eine und dieselbe Zelle alle diese Reize gleichzeitig erhalten. Es wird dies andererseits um so eher möglich sein, je rascher die verschiedenen Reize aufeinanderfolgen. Denn bei der verhältnismässig grossen Fortpflanzungs-

geschwindigkeit der Reize in unseren nervösen Substanzen (etwa 26 bis 34 Meter in der Sekunde) werden von Reizen, zwischen denen grössere Zeiträume verstreichen, die früheren bereits völlig abgelaufen sein und keinerlei merkliche Erregung im nervösen Zentralorgan hinterlassen, wenn die späteren Reize erst ankommen, was bei rasch aufeinanderfolgenden Reizen nicht vorkommt. Jedenfalls wird es bei den sehr rasch aufeinanderfolgenden Reizen, die zu einem einheitlich aufgenommenen Vorgang gehören, immer eine nervöse Zelle des Zentralorgans geben, in der die grösste Anzahl jener Reize — immer gleiche Intensität derselben vorausgesetzt — gleichzeitig ankommt, und diese Zelle muss daher stärker erregt werden, als alle anderen sonst gleichen Zellen des nervösen Zentralorgans. Die in solcher Weise ausgezeichnete Zelle wird stärker assimilieren, als die anderen Zellen, und von ihr wird sich daher bei genügend wiederholten gleichen Reizwirkungen eine Associationszelle abspalten, die den bt. Vorgang in der Erinnerung zurückhält.

Gestalt der Associationszellen.

a) Gleichzeitige Empfindungen.

Nach den vorhergehenden Erläuterungen können wir uns nun auch über die äussere Gestalt der Associationszellen eine gewisse Vorstellung machen. Wurde nämlich diejenige Associationszelle gebildet, welche einer nur augenblicklichen Betastung oder einem Klang oder einem mit den Augen fixierten ruhenden Gegenstand zukommt, so dass alle Reize gleichzeitig ausgeübt worden sind, so hat diese Associationszelle nervöse Fibrillen erhalten, die mehr oder weniger gleich lang sind und von einem einzigen Punkt ausgehen bz. in diesem zusammentreffen, wie es die Fig. 6 anschaulich macht. Denn in diesem Fall müssen alle Reize, die im gleichen Augenblick auf sämtliche Fibrillenenden ausgeübt werden — gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reize in jenen vorausgesetzt — zu gleicher Zeit im gemeinschaftlichen Knotenpunkt R und somit auch im Zellkörper z selber ankommen. Das aber war die Bedingung, dass gerade diese und keine andere Associationszelle entstehen konnte. Wird diese Associationszelle nunmehr erregt, so bringt

sie dem Ich jenen betasteten Gegenstand oder den Klang oder den gesehenen Gegenstand in Erinnerung, etwa vermittelst des Neurits n, der durch verschiedene Fibrillen an das nervöse Zentralorgan angeschlossen ist.

b) Ungleichzeitige Empfindungen.

Wurde dagegen diejenige Associationszelle gebildet, die einem gehörten rollenden Wagen oder einer raschen einfachen

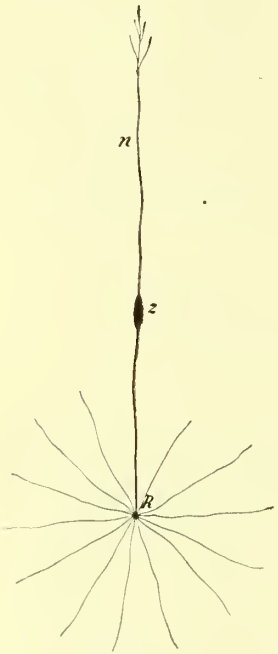


Fig. 6.

Fig. 7.

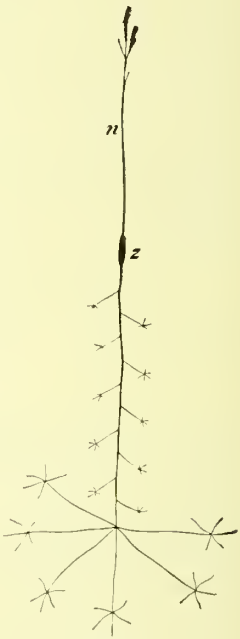


Fig. 8.

Tonfolge, oder einem gehörten Wort, oder einem gesehenen, rasch vorbeifliegenden Vogel zukommt, wurden also alle aufgenommenen Reize ungleichzeitig ausgeübt, so hat die dadurch entstandene Associationszelle Fibrillen erhalten, die in ungleicher Länge (S. 72) von den verschiedenen reizaufnehmenden bz. reizleitenden Zellen bis zum Zellkörper sich erstrecken, wie eine solche Zelle etwa durch nebenstehende Fig. 7 dargestellt wird. Behalten wir nämlich die Voraussetzung gleicher Reizleitungs-

geschwindigkeit für alle Fibrillen dieser Zelle bei, so müssen offenbar die Reize in ganz verschiedenen Augenblicken in den verschiedenen Fibrillenenden ausgeübt werden, wenn sie gleichzeitig im Zellkörper z ankommen sollen. Nur unter dieser Bedingung konnte aber die hier abgebildete Zelle wirklich entstehen. Wird sodann diese Associationszelle in irgend einer Weise erregt, so bringt sie dem Ich das Geräusch des vorbeirollenden Wagens in der zeitlichen Aufeinanderfolge von Schalleindrücken, oder die rasche, einfache Tonfolge, oder das gehörte Wort, oder den gesehenen, rasch vorbeifliegenden Vogel in Erinnerung. Denn die in bestimmtem Erregungszustand befindliche Associationszelle reizt vermittelst ihres Neurits n das nervöse Zentralorgan immer in derselben Weise, ganz nnabhängig von der Art, in der sie selber in diesen Erregungszustand versetzt worden ist.

c) Kombinierte Empfindungen.

Associationszellen, die sowohl durch gleichzeitige als auch durch zeitlich aufeinander folgende Reize entstanden sind, werden unseren Erläuterungen zufolge durch eine Kombination der Figuren 6 und 7 dargestellt. Beispielsweise besteht die gewöhnliche Tonfolge jedes musikalischen Instruments nicht aus aufeinanderfolgenden einfachen Tönen, sondern aus lauter Klängen. Die bt. Associationszelle, Fig. 8, wird an dem in die Höhe steigenden Stamm eine Reihe von an ungleichen Punkten abzweigenden Fibrillen besitzen, die den verschiedenen aufeinanderfolgenden gespielten Tönen zukommen; jede von diesen Fibrillen hat sich aber in mehrere (in der Figur in fünf) feinere Fibrillen gespalten, welche, der Klangfarbe der bt. Töne entsprechend, zum Grundton und zu den bezüglichen Obertönen gehören. Wurde bei Beginn der Tonfolge ein Accord von etwa sechs Tönen gespielt, so mussten alle sechs zugehörigen Fibrillen gleich lang werden, und sie konnten in einem und demselben Punkt des aufsteigenden Stammes sich treffen. Aber auch diese Fibrillen sind alle der Klangfarbe der bt. Töne entsprechend wieder in die (fünf) feineren Fibrillen aufgesplittert. Wird die Associationszelle späterhin erregt, so bringt sie dem Ich den bt. früher gehörten Accord und die daran anschliessende Tonfolge wieder in Erinnerung.

Indessen muss nicht notwendig die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizleitung in allen Nervenfibrillen die gleiche sein; vielmehr hängt diese Geschwindigkeit von der Art der chemischen Umwandlungen ab, die sich zum Zwecke der Reizleitung in jenen Fibrillen abspielen müssen, sodann von der Molekelzahl, die gleichzeitig von dieser Umwandlung betroffen wird. Daher sind die chemische Beschaffenheit, sowie die Querschnitte und namentlich die Querschnittsänderungen der einzelnen Nervenfibrillen massgebend für die Reizleitungsgeschwindigkeiten in ihnen (vgl. I, S. 164). Wir können somit nicht ausschliesslich aus der Länge der Fibrillen gewisser Nervenzellen einen bindenden Schluss ziehen auf die verhältnismässige Zeitdauer, die zur Fortpflanzung der Reize längs jeder einzelnen Fibrille nötig ist. Aber die Längen und die Querschnitte der Fibrillen werden uns doch einigermassen Einblick gewähren in die Verhältnisse der Zeiträume, in denen die von den verschiedenen Fibrillenenden ausgehenden Reize im Zellkörper selber ankommen. Dicke Fibrillen werden dabei rascher vom Reiz durcheilt als dünne, wenn die chemische Beschaffenheit ihrer Substanzen in beiderlei Fibrillen dieselbe ist; ebenso kurze Fibrillen selbstverständlich rascher als lange.

Ichempfindung.

Mit allen seinen Sinnen nimmt das Kind einerseits mehr oder weniger alle seine eigenen Körperteile wahr, es erkennt andererseits Gegenstände seiner Umgebung, fremde Körper. Es empfindet mannigfache Einwirkungen eigener Körperteile und solche fremder Gegenstände auf seine eigenen Körperteile; es empfindet immer wieder die Unterschiede, welche zwischen solchen Einwirkungen beiderlei Art bestehen, Unterschiede, auf welche wir früher schon mehrmals aufmerksam gemacht haben. Dadurch kommt das Kind mehr und mehr zu der bewussten Empfindung der fortwährenden Gegensätzlichkeit des eigenen Ich und der gesamten äusseren Körperwelt. Es befestigt sich in ihm die Ichempfindung, die bewusste Empfindung des Ich, die bewusste Selbstempfindung. Das Kind lernt durch seine Beobachtung alles dessen, was in seiner unmittelbaren Umgebung vorgeht, sich selber kennen.

Nachdem das Kind erkannt hat, an zahlreichen Gegenständen, die bis dahin in irgend einer Weise zu seiner Empfindung gelangten, dass zwei Gegenstände gleich oder ungleich sein können, dass sie im ersteren Fall gleich benannt werden und für uns das Gleiche bedeuten, vergleicht es alle wahrgenommenen Gegenstände miteinander, sucht und findet ihre Aehnlichkeiten heraus. Es heisst dies nach unseren Erörterungen nichts anderes, als dass der von einem wahrgenommenen Gegenstand ausgehende Reizkomplex diejenige Associationszelle zu erregen sucht, welche im Verlauf ihrer Associationsbahnen dem in den Reizleitungsbahnen stattfindenden Verlauf des neuen Reizkomplexes am ähnlichsten ist. Wird eine bereits bestehende Associationszelle durch jenen Reizkomplex merklich erregt, so ist eine Aehnlichkeit eines bereits bekannten mit jenem neu wahrgenommenen Gegenstand da. Je stärker jene erregt wird, um so grösser ist die Aehnlichkeit. Der höchste Grad der Erregung lässt auf Gleichheit schliessen.

Das Kind sieht also, dass zwei Hände, zwei Füsse einander gleichen oder ähnlich sind, dass ein Kind von gleicher Grösse Hände, Füsse und Rumpf besitzt, wie es selber. Nachdem sich in ihm die Erfahrung festgesetzt hat, dass zwei Gegenstände im allgemeinen auch als gleich zu betrachten sind, wenn nur ihre Hauptteile sich gleichen, empfindet es nun eine gewisse Gleichheit zwischen jenem Kind und sich selber. Es gelangt allmählich zu der weiteren Erkenntnis, dass andere grössere Kinder, dass Erwachsene, dass insbesondere seine Eltern gleiche Hände, gleiche Füsse, einen gleichen Rumpf besitzen, wie solche Körperteile ihm selber zukommen. Bringt man also dem Kind bei, dass alle diese äusseren fremden Gegenstände, welche seine Eltern, Geschwister oder Bekannte sind, gemeinsam als Menschen bezeichnet werden, so setzt sich in ihm durch Vergleichung von selber die Anschauung fest, dass es gleichfalls ein Mensch sei, eine Anschauung, die zur Vervollständigung der bewussten Selbstempfindung notwendig ist.

C. Gefühle. Handlungen.

Die Reize werden durch reizleitende Nervenfasern von den reizaufnehmenden Zellen bis zum nervösen Zentralorgan übertragen und dort vom Ich als Empfindungen aufgenommen. Durch chemische Veränderung der Nervensubstanzen oder doch von einer ihrer Fibrillensubstanzen kommt in der Nervenzelle die Reizleitung zu stande. An einer Stelle des Nervs, von welcher der Reiz ausgeht bz. an welcher der Reiz auf den Nerv übertragen wird, lagern sich die Atome in den Molekeln der bt. Substanz um, oder es werden Atome dort neu aufgenommen oder umgekehrt abgegeben, wie wir schon früher (I, S. 155) auseinandergesetzt haben. Infolge dieser chemischen Thätigkeit entstehen in den beeinflussten Molekeln Eigenschwingungen, die sich teilweise auch auf die benachbarten noch unverändert gebliebenen Molekeln übertragen. Denn beiderlei (ohnehin sehr komplizierte) Molekelarten weichen nur unbedeutend voneinander ab, und daher sind zum mindesten manche Eigenschwingungsverhältnisse in beiden Molekelarten die gleichen. Die noch unveränderten Molekeln, die die neuen von den bereits veränderten Molekeln ankommenden Eigenschwingungen angenommen haben, verwandeln sich diesen zufolge bei nur leichtem Anstoss schon in jene veränderte Molekelart (vgl. I, S. 36). So schreitet die Umwandlung der einen Molekelart in die andere fort, durch die ganze Nervenzelle hindurch, mit einer gewissen Geschwindigkeit, wie sie den bt. chemischen Umwandlungen entspricht. Sind die zum Nerv gehörigen Nervenscheiden aus ganz anderen Molekelarten aufgebaut, so werden sie von jener chemischen Umwandlung unter Umständen gar nicht beeinflusst. Dies wird zweifellos im allgemeinen die Regel sein.

Ist der von einem Nervenende ausgehende Reiz an einem anderen Nervenende angelangt, ist also die chemische Umwandlung bis zum letzteren vorgeschritten, so wirkt nun an dieser Stelle die chemisch veränderte Substanz auf die Substanz einer anderen Zelle ein, mit der jene Nervenzelle zusammenhängt bz. zur Berührung kommt. Wenn der fortgeleitete Reiz kräftig genug ist, wird auch die Substanz der folgenden Zelle chemisch beeinflusst, und es wird der Reiz übertragen, in die neue Zelle

hineingeleitet. In dieser Weise schreitet der Reiz weiter und weiter fort, von Zelle zu Zelle, bis die durch den Reiz übertragene Energie völlig aufgebraucht ist, zu allerlei chemischen Umsetzungen.

Hört der auf eine Zelle ausgeübte Reiz wieder auf, so beginnt die Rückverwandlung ihrer veränderten Substanzen. Alle Nerven erhalten ihre notwendige Nahrung vermöge des Blutzuflusses. Bei inniger Berührung der Zelle mit ihrer Nahrung sucht sich stets die normale Korrelation aller ihrer Zellsubstanzen zu einander wieder herzustellen. Es wird Nahrung verbraucht und auf diesem Weg werden alle nunmehr veränderten Zellsubstanzen, sobald die Einwirkung von aussen, sobald der Reiz aufgehört hat, in die ursprünglichen normalen Substanzen zurückgeführt. Hernach ist die bt. Zelle wieder ebenso reizleitungsfähig wie zuvor (I, S. 157).

Wir haben ferner erkannt, dass für jede Reizart ein gewisser Schwellenwert existiert, der erreicht sein muss, damit ein Reiz überhaupt merklich werde. Es müssen zweifellos in allen Fällen früher oder später wirkliche chemische Umsetzungen erfolgen, wenn ein wirksamer Reiz zu stande kommen soll. Wird aber die äussere Einwirkung, die den Reiz hervorbringt, stärker und stärker, so wächst auch die Intensität des Reizes, und bei einer gewissen Stärke jener Einwirkung erreicht der Reiz selber sein Optimum. Die Wirkung des Reizes auf diejenige Zelle, zu der er hingeleitet wird, ist eine möglichst günstige. Wenn die äussere Einwirkung immer noch mehr verstärkt wird, so erlangt sie einen übermässigen Einfluss auf die Nervensubstanz, so dass diese zu stark zersetzt oder umgesetzt wird. Es entstehen dadurch so sehr veränderte Molekeln in der Nervensubstanz, dass dieselben nunmehr auf neue gleichartige Reize weniger leicht reagieren, obwohl sie infolge ihres veränderten Zustandes unter Umständen auf ganz andere nervöse Zellen neue und starke Reize ausüben. Sodann werden in diesem Fall die stark veränderten Zellsubstanzen erst nach längerer Zeit durch die zugeführte Nahrung wieder in die ursprünglichen normalen Zellsubstanzen zurückgeführt. Solche Reizwirkungen sind also jedenfalls ungünstiger, als die oben genannten. Das Optimum des Reizes ist überschritten. Wenn endlich infolge der äusseren Einwirkungen die chemischen Umwandlungen der nervösen Zellsubstanzen gar zu energisch

werden, so wird eine Rückverwandlung derselben überhaupt nicht mehr gelingen. Dann sterben die Zellen ab und ihre ordnungsmässige Reizübertragung erlischt (I, S. 162). Ihre Reizwirkung auf benachbarte andere nervöse Zellen kann aber erst recht eine bedeutende werden.

Unlustgefühl.

Wir verfolgen nun diese Verhältnisse bei den reizaufnehmenden und bei den reizleitenden Zellen. Wirkt irgend ein äusserer oder innerer Reiz auf eine reizaufnehmende Zelle ein, so bleibt die Wirkung auf die an jene anschliessenden reizleitenden Zellen spurlos, solange jener Reiz zu schwach ist. Wird aber der Schwellenwert des Reizes für die reizaufnehmende Zelle erreicht, so beginnen in dieser chemische Umwandlungen. Trotzdem kann möglicherweise der Schwellenwert des Reizes für die anschliessende reizleitende Zelle, auf die die reizaufnehmende Zelle ihren Reiz übertragen soll, noch nicht erreicht sein, so dass der Reiz doch nicht weiter fortgeleitet wird. Ist indessen dieser Grenzzustand der Substanzen, der Schwellenwert des Reizes überall überschritten, für sämtliche reizleitenden Zellen, so wird der Reiz fortgeleitet, von Zelle zu Zelle, bis durch die hervorgerufenen chemischen Umsetzungen in den betroffenen Zellen die Energie des Reizes abgenommen hat, so sehr, dass weitere Zellen von der Reizwirkung nicht mehr ergriffen werden. Durch fortgesetzte Verstärkung der bt. Einwirkung wird jener äussere oder innere Reiz stärker und stärker, die Reizwirkung erreicht in einer der betroffenen gereizten Zellen nach der anderen ihr Optimum. Bei noch weiter verstärktem Reiz geht zuerst die eine Zelle, dann eine zweite, eine dritte usf. in denjenigen Erregungszustand über, in dem chemische Umsetzungen oder Zersetzungen nervöser Zellsubstanzen übermässig stark erfolgen, so stark, dass durch den Nahrungszufluss diese Substanzen nicht mehr nach Massgabe ihrer Entstehung in ihren normalen Zustand zurückgeführt werden können. Es nimmt daher der Betrag an solchen umgewandelten Zellsubstanzen immer mehr zu und diese üben nun in ihrem anormalen Zustand Reizwirkungen auf andere benachbarte Substanzen aus, auf die sie unter normalen Verhältnissen nicht einwirken würden. Je mehr die genannten umgewandelten Zell-

substanzen an Menge zunehmen, um so mehr wirkt ihre Gesamtheit auf benachbarte Nervenzellen störend ein. Es entsteht im nervösen Zentralorgan die Empfindung störender Substanzen, die nicht vorhanden sein sollten. Bei überreichlich vorhandenen störenden Substanzen entsteht im nervösen Zentralorgan die Empfindung von Schmerz. Das Ich empfindet ein Unlust-, ein Schmerzgefühl, hervorgerufen durch die übermässige Reizwirkung jener störenden Substanzen auf das nervöse Zentralorgan selber. Auch diese störende Einwirkung auf das nervöse Zentralorgan ist aber so zu verstehen, dass in entsprechenden Zellen desselben durch jene Reize nervöse Zellsubstanzen überreichlich zersetzt werden, so reichlich, dass sie durch den Nahrungszufluss nicht mehr nach Massgabe ihres Auftretens in normale Zellsubstanzen zurückgeführt werden können.

Lustgefühl.

Lässt für die Folge der ursächliche zu starke Reiz nach, so kann der Nahrungszufluss zu den in Mitleidenschaft gezogenen Zellen bewirken, dass die Zellsubstanzen allmählich wieder in ihren normalen Zustand übergehen, wenn die Zersetzung in den Zellen nicht übermässig um sich gegriffen hat. Nach Massgabe dieser Rückverwandlung verschwindet das Schmerz-, das Unlustgefühl. Das nervöse Zentralorgan wird nicht mehr gereizt, das Ich empfindet nicht mehr die Anwesenheit störender Substanzen. Wenn keine anderen Reize ausgeübt werden, empfindet es nun überhaupt nichts mehr. Werden dagegen diejenigen Zellen, durch welche die Störungen des empfindenden nervösen Zentralorgans und somit auch des Ich zu stande gekommen sind, durch innere Vorgänge oder durch Vermittlung anderer, etwa reizaufnehmender und reizleitender Zellen in dem Sinn gereizt, dass die Rückverwandlung ihrer chemisch zersetzten Zellsubstanzen während des unentbehrlichen Nahrungszuflusses rascher von statten geht, als ohne solche Reizung, als nur durch die herbeifliessende Nahrung allein, so entsteht für das Ich das Lustgefühl. Die Lust ist für das Ich die Empfindung des beseitigten Schmerzes. Wo keinerlei Schmerz war, ist keinerlei Lust möglich. Ohne diese Gefühle der Lust und der Unlust bz. des

Schmerzes verhält sich das Ich vollständig indifferent. Lust und Unlust sind diejenigen Kontraste, die unsere Handlungen verursachen.

Reflexbewegung.

Das Kind wird mit einem vollständig ausgebildeten Nervensystem, mit dem sympathischen Nervensystem geboren (S. 6). Dieses Nervensystem hält die Korrelation aller Organe und aller Zellen untereinander aufrecht. Dasselbe besitzt sensible, empfindende und motorische, bewegende Nerven. Alle diese Nerven laufen entweder in ein Zentrum zusammen, oder in mehrere Zentren, nämlich in niedrigere oder in höhere Nebenzentren und erst von diesen in das oberste Hauptzentrum (S. 27). Alle motorischen Nerven stehen, vermöge solcher nervöser Zentren, mit einem oder mit mehreren bz. mit allen sensibeln Nerven in Verbindung. Wird ein sensibler Nerv erregt, kommt die entsprechende Empfindung zu stande, so wird der Reiz auf einen motorischen Nerv übertragen, der mit jenem sensibeln Nerv in genannter Weise zusammenhängt. Ein Reiz pflanzt sich im motorischen Nerv gegen die Peripherie hin fort. Der sensible Nerv ist daher der zentripetal, der motorische dagegen der zentrifugal leitende, bezüglich des nervösen Zentrums, in dem beide Nerven zusammenhängen. Ist der motorische Nerv beispielsweise an einen Muskel angeschlossen, so wird, wenn der Nervenreiz kräftig genug auf die Muskelsubstanz einwirkt, diese chemisch umgewandelt und es erfolgt die Muskelkontraktion (II, S. 104), also die Bewegung eines Organs. In anderen Fällen leitet der motorische Nerv eine Sekretion oder eine andere wichtige Organfunktion ein.

Vermöge der schon im sympathischen Nervensystem vorhandenen Anschlüsse von sensibeln Nerven an motorische Nerven erfolgen Reizleitungen von ersteren auf letztere Nerven, und somit entstehen Bewegungen aller Art, wenn die entsprechenden Reize eingetreten sind. Ist der Zusammenhang zwischen einem sensibeln und einem motorischen Nerv ein ganz unmittelbarer und ausschliesslicher, ohne irgendwelche anderen Abzweigungen, so erfolgt unweigerlich auf den genügend starken Reiz des sensibeln Nervs automatisch die entsprechende Bewegung. Falls

ein solcher Zusammenhang zwischen zwei Nerven für die Lebensfähigkeit des Menschen ein durchaus notwendiger ist, vererbt sich derselbe von Generation zu Generation. Es arbeiten aber unter solchen Umständen die beiden Nerven besonders häufig zusammen, ihre Substanzen assimilieren gleichzeitig. Beide Zellen wachsen, sie vergrössern sich und eine von ihnen, die stärker assimilierende, teilt sich. Dadurch entsteht eine neue Zelle, welche auch von der nicht sich teilenden Zelle nervöse Fibrillen abspaltet (vgl. S. 32), und welche sodann, mit Umgehung eines nervösen Zentrums, den Reiz von der reizaufnehmenden Zelle unmittelbar zur kontraktilen, zur Muskelzelle leitet. Es entsteht in noch einfacherer und direkterer Weise auf den Reiz hin automatisch die Bewegung, ohne dass das nervöse Zentrum der Reizleitungen überhaupt mitwirken muss. Eine solche Bewegung nennen wir Reflexbewegung, die zugehörige Nervenbahn eine Reflexbahn. Durch direkte Nervenverbindungen, durch solche Reflexbahnen hängen alle diejenigen Organe zusammen, die zu einander in so inniger Korrelation stehen, dass sie fortwährend zusammenarbeiten müssen, dass jeder Einfluss auf das eine Organ nicht nur eine Aenderung in ihm selber, sondern auch sofort eine entsprechende Aenderung im anderen Organ nach sich zieht. Solche Nervenverbindungen müssen wir eigentlich noch unserem sympathischen Nervensystem hinzurechnen. Durch Nervenverbindungen dagegen, die den Umweg über ein nervöses Zentrum, über eines der Nebenzentren oder sogar über das oberste Hauptzentrum einschlagen, hängen ausserdem alle Organe und sogar alle lebenden Zellen des Körpers zusammen, ausgenommen die selbständig im Körperinnern sich bewegenden Synbionten. Jeder zentripetal von der Peripherie her geleitete Reiz wird also zum mindesten noch im obersten nervösen Hauptzentrum an zentrifugal zur Peripherie hin leitende Nerven oder doch an einen solchen abgegeben, und es erfolgt daraufhin die entsprechende Funktion, wenn der Reiz kräftig genug gewesen ist.

Schmerzstillende Handlung.

Wenn das neugeborene Kind in keiner Weise in seinen Nerven gereizt wird, führt es keinerlei Bewegungen, keinerlei Handlungen aus. Auf Reize hin kommen aber automatische,

also unbewusste Bewegungen zu stande, oder anderweitige Handlungen. Sind die Reize nicht derart, wie sie normalerweise immer wiederkehren, wie sie beispielsweise zum regelrechten Stoffwechsel gehören und durch entsprechende Reflexbahnen auf motorische Organe übertragen werden, so pflanzen sie sich durch die zugehörigen sensibeln Nerven zu einem niedrigeren oder höheren nervösen Zentrum fort, wo letztere mit mehr oder weniger zahlreichen anderen Nerven, mit sensibeln und motorischen, zusammenhängen. Wird in solcher Weise ein schwacher Reiz weiter geleitet, so werden in der Regel alle Nerven, die im bt. nervösen Zentrum diesen Reiz aufnehmen können, in entsprechender Weise erregt. Es wird indessen auf den zu schwachen Reiz noch keine Handlung des Kindes erfolgen. Wird aber der Reiz mehr und mehr verstärkt, so entsteht von einem gewissen Reizwert an, wie wir oben gezeigt haben, ein Unlustgefühl und zuletzt sogar das Schmerzgefühl. Ein solches Schmerzgefühl muss normalerweise früher oder später eine schmerzstillende Bewegung oder Handlung zur Folge haben.

Tritt ein Schmerzgefühl ein, so werden vom Kind unbewusst zahlreiche Handlungen der Reihe nach ausgeführt, der Reizübertragung auf die bt. motorischen Nerven zufolge. Bei jedem Schmerzgefühl giebt es nun aber in der Regel wenigstens *eine* Handlung, die den Schmerz zu lindern oder ganz zu beseitigen im stande ist, so dass das Schmerzgefühl dem Lustgefühl Platz macht. Wie durch Zufall wird einmal die bt. Handlung bz. Bewegung vom Kind ausgeführt, und damit wird der Schmerz beseitigt. Wiederholt sich das gleiche Schmerzgefühl von Zeit zu Zeit, so wird auch früher oder später immer wieder jene den Schmerz lindernde Handlung ausgeführt. Wenn nun die nämlichen aufeinanderfolgenden Vorgänge öfters geschehen, so arbeiten die zugehörigen Nerven, die zu stark zum Schmerz gereizte sensible Nervenzelle und die schmerzlindernde motorische Nervenzelle besonders häufig zusammen. Sie assimilieren, wachsen, teilen sich. Es entsteht aus beiden Nervenzellen, aus der sensiblen und der motorischen, eine neue Zelle, die jene beiden durch nervöse Fibrillen miteinander verbindet, weil sie sich aus einer von ihnen bz. aus ihnen beiden abgeschnürt hat. Die neue Zelle, eine Associationszelle, repräsentiert für das *Ich* die Erinnerung, dass eine ganz bestimmte Handlung, auf

das bestimmte Schmerzgefühl folgend, dieses in das Lustgefühl umgewandelt hat. Wir müssen im folgenden auf die soeben behandelten Vorgänge noch näher eingehen.

Zusammenhang der sensibeln und der motorischen Nerven.

Wie die sensibeln Nerven, so laufen auch die motorischen Nerven nicht alle in einen einzigen Punkt zusammen. Sie reichen zwar mittelbar oder unmittelbar stets in das oberste Hauptzentrum hinein (S. 84), das selber eine grössere räumliche Ausbreitung und zahlreiche Verzweigungen besitzen muss. Ausserdem werden aber zahlreiche motorische Nerven, solche nämlich, welche immer oder doch fast immer gleichzeitig wirken

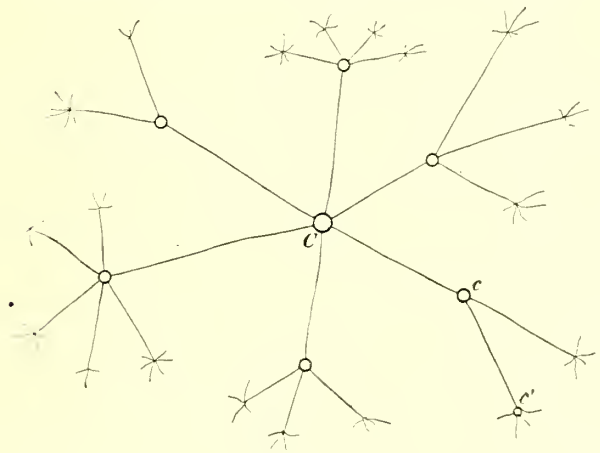


Fig. 9.

und welche dadurch bestimmte Bewegungen bestimmter Körperteile zu stande bringen, ein eigenes nervöses Nebenzentrum besitzen. Dieses letztere muss selber wieder mit dem obersten nervösen Hauptzentrum (C) durch besondere nervöse Fibrillen zusammenhängen, sei es nun ein höheres oder ein niedrigeres Nebenzentrum (c oder c'). Die Fig. 9 mag diesen Zusammenhang veranschaulichen. Der beschriebene Zusammenhang folgt notwendigerweise aus der Keimesentwicklung. In der Keimesentwicklung muss nämlich das ganze Nervensystem des Embryo

auf eine einzige ursprüngliche nervöse Zelle zurückgeführt werden, aus der alle anderen nervösen Zellen durch Abschnürungen nach und nach entstanden sind. Daher musste auch nach allen Zellteilungen der Zusammenhang der nervösen Zellen untereinander durch Fibrillen gewahrt bleiben.

Verschiedenartige Reizbahnen.

Kommt nun der das Schmerzgefühl übermittelnde Reiz in einem nervösen Zentrum an, in das ausser den bt. sensibeln auch motorische Nerven einmünden, so werden zuerst diese gereizt. Es werden somit diejenigen Handlungen (Bewegungen, Sezernierungen usf.) ausgeführt, die der Reizung der bt. motorischen Nerven entsprechen. Sind diese Handlungen zweckmässig, so wird durch dieselben das Schmerzgefühl gelindert und der bt. Reiz verschwindet nach und nach. Um so mehr macht das Schmerzgefühl dem Lustgefühl Platz, je zweckmässiger die Handlungen sind.

Ist aber eine von den Handlungen unzweckmässig, so wird durch sie das Schmerzgefühl gesteigert, und diese Handlung kann dementsprechend nicht eine länger dauernde, vielmehr nur eine kurze sein. Eine Handlung, die von sich aus Schmerz im eigenen Körper hervorruft, muss selbstthätig vom nervösen Zentralorgan aus gehemmt werden, durch entsprechende Reizwirkungen, also durch chemische Vorgänge [1]). Dies ist eine durchaus und gesetzmässig notwendige Eigenschaft des Nervensystems. Denn wäre es anders, würde jene schmerzvermehrende und somit den Körper schädigende Handlung umgekehrt durch ihr eigenes Auftreten verstärkt, so würde die bt. Art, es würde also in unserem betrachteten Fall die Menschheit, die ein solches Nervensystem besässe, dem Untergang entgegen gehen. Sie würde unterliegen im Kampf ums Dasein mit anderen Lebe-

[1]) Es können beispielsweise durch schwache unzweckmässig in einer bestimmten motorischen Nervenfibrille eintreffende Reize die Molekeln derselben chemisch schon in solcher Weise verändert werden, dass sie einerseits die verstärkten gleichartigen Reize gar nicht mehr aufnehmen, dass sie aber andererseits auf andere mit ihrer Fibrille zusammenhängende Nervenfibrillen chemisch nicht mehr einwirken und daher diese nicht erregen.

wesen, die diese ungünstige Eigenschaft ihres Nervensystems nicht besitzen. Zum mindesten könnte derjenige Menschenschlag, der eine solch ungünstige Eigenschaft seines Nervensystems besässe, nicht lebensfähig sein im Kampf ums Dasein mit allen übrigen günstiger veranlagten Menschenschlägen.

Demnach kann der unzweckmässigerweise in einem bestimmten motorischen Nerv angekommene Reiz zwar diesen Nerv in schwache Erregung versetzen und infolgedessen das Schmerzgefühl noch etwas verstärken, er kann aber nicht die Erregung des Nervs bis zum Werte ihres Optimums steigern, bei dem der Nerv die entsprechende Handlung in ausgiebiger Weise bewirkt. In solchen Fällen wird vielmehr die Handlung höchstens mit ganz geringer Intensität und nur kurze Zeit ausgeführt. Denn schon die wenig intensive Handlung verstärkt das Schmerzgefühl in merklicher Weise. Der mit Schmerzgefühl verbundene Reiz wird aber nunmehr weiter geleitet, zu anderen motorischen Nerven desselben nervösen Zentrums, oder zu einem anderen, etwa zu einem höheren nervösen Zentrum, in dem wieder andere motorische Nerven oder Nervenkombinationen zusammenlaufen. Es erfolgen daraufhin andere Handlungen, die ihrerseits wiederum zweckmässig oder unzweckmässig sein können. Sind sie zweckmässig, so vermindern sie den in erster Linie wirksamen Reiz; sie vermindern das Schmerzgefühl, verwandeln dasselbe in Lustgefühl, wenn der Schmerz rasch genug nachlässt. Sind sie dagegen unzweckmässig, so verstärken sie das Schmerzgefühl, und es wird daher der Reiz, der das letztere mit sich bringt, noch weiter geleitet, wieder zu einem anderen nervösen Zentrum.

In solcher Weise schreitet der mit Schmerzgefühl verbundene Reiz im Inneren des nervösen Zentralorgans von Nebenzentrum zu Nebenzentrum, von niederen zu höheren, aber auch von höheren zu niederen Zentren fort. Einmal erreicht er dabei vielleicht das oberste Hauptzentrum selber. Ein motorischer Nerv nach dem anderen, eine Kombination von solchen nach der anderen wird gereizt. Alle diejenigen Kombinationen motorischer Nerven, die das Schmerzgefühl steigern, wenn sie im Erregungszustand ihre zugehörige Handlung verursachen, werden nur kürzeste Zeit gereizt, nur so lange, bis das Schmerzgefühl, wenn auch kaum merklich, zuzunehmen beginnt. Daraufhin

muss der Reiz weiter geleitet werden. Diejenige Kombination motorischer Nerven dagegen, die in ihrem Erregungszustand eine schmerzlindernde Handlung nach sich zieht, wird fortdauernd gereizt, bis das Reizoptimum auf dieselbe übertragen ist, oder wenigstens bis die bt. Handlung so wirksam ausgeführt wird, dass sie das Schmerzgefühl rasch genug beseitigt bz. in das Lustgefühl umwandelt. Durch fortgesetzte Differenzierung sind bei der phyletischen Entwicklung solche motorische Nerven entstanden, welche auf Reize, die von sensibeln Nerven auf sie übertragen werden, nur dann merklich reagieren, wenn sie jene Reizwirkungen schwächen, infolge der von ihnen verursachten Handlung, nicht aber, wenn sie jene Reizwirkungen dadurch noch verstärken.

Wir haben es als eine durchaus und gesetzmässig notwendige Eigenschaft des Nervensystems bezeichnet, dass ein von Schmerz begleiteter Reiz nicht diejenigen motorischen Nerven erregt, welche durch ihre Einwirkungen, etwa auf Muskelzellen, das Schmerzgefühl steigern, sondern diejenigen, welche umgekehrt das Schmerzgefühl vermindern. In der That müssen analoge Vorgänge schon in den einfachen Zellen anzutreffen sein. Es ist die genannte Eigenschaft eine fundamentale Eigenschaft aller lebenden bz. lebensfähigen Zellen. Bei der Behandlung der gewöhnlichen Zellen haben wir gezeigt, dass die einigermassen weiter differenzierten unter ihnen reizleitende Fibrillen und ein nervöses Zentrum besitzen müssen (I, S. 187). Manche von diesen Fibrillen leiten die Reize von der Peripherie zum Zentrum, zentripetal, es sind dies die sensibeln Fibrillen; andere leiten die Reize vom Zentrum zur Peripherie, zentrifugal, es sind dies die motorischen Fibrillen. Die Fibrillen müssen in ihrem Bau, in ihrer chemischen Zusammensetzung sich in der Weise differenziert haben, dass sie immer nur oder doch vorzugsweise in einer Richtung die Reize leiten, dass also die einen von ihnen immer zentripetal, die anderen immer zentrifugal reizleitend sind. Im nervösen Zentrum der Zelle, vermutlich im zugehörigen Polkörperchen, hängen die zentripetal und die zentrifugal leitenden nervösen Fibrillen miteinander zusammen, so dass jede gereizte sensible Fibrille oder jede Kombination gereizter sensibler Fibrillen den Reiz überträgt auf eine ganz bestimmte entsprechende motorische Fibrille oder auf eine Kombination solcher

motorischer Fibrillen. Die Substanzen der sensibeln und der motorischen Fibrillen, sowie ihr Aufbau, ihre Strukturen müssen im Lauf der phyletischen Entwicklung derartige geworden sein, dass durch solche Reizübertragungen bz. Bewegungsauslösungen immer nur die zweckmässig gebauten Zellen am Leben blieben, die unzweckmässigen vernichtet wurden. Wird daher irgend eine Zelle in irgend einer Weise gereizt, so führt sie normalerweise diejenigen Bewegungen aus, die geeignet sind, eine Verminderung des Reizes zu bewirken.

Entgegengesetzt verlaufende Reizbahnen.

In Zellenstaaten differenzieren sich die einzelnen Zellen, es entstehen eigene reizleitende, die nervösen Zellen. In ihnen sind zweckmässigerweise, um eine weit ausgedehnte Reizleitung zu erreichen, die sensibeln Fibrillen vom Zentrum der Zelle aus möglichst nach der einen Richtung, die motorischen Fibrillen möglichst nach der entgegengesetzten Richtung gewandt. Die Zelle erhält dabei eine grosse Längsausdehnung, ihr Zellkern und ihr nervöses Zentrum liegen mehr oder weniger in der Mitte, wenigstens wenn sensible und motorische Fibrillen in ihrer Leitungsfähigkeit und in ihren übrigen Funktionen ganz äquivalent sind; anderenfalls kann der Kern der Nervenzelle mit ihrem nervösen Zentrum den Enden der einen Fibrillenart viel näher liegen als denjenigen der anderen Fibrillenart. Eine solche Nervenzelle leitet also Reize, die an ihrem einen, dem sensibeln Ende auf sie übertragen werden, zentripetal, zum Zentrum, das heisst in das Innere ihres Zellkörpers hinein, sodann darüber hinaus zentrifugal bis zum anderen Nervenende. Sie leitet vorzugsweise in dieser Richtung die Reize, jedoch nicht ausschliesslich. Denn die Korrelation aller Zellsubstanzen untereinander verlangt, dass diejenigen Substanzen, die bei der Differenzierung der Zellen zu Gunsten anderer Substanzen zurückgedrängt werden, nicht ganz verschwinden, sondern in geringem Masse immer noch erhalten bleiben, soll die Zelle ihr Leben weiter fristen können (II, S. 7). Daher müssen auch einzelne nervöse Fibrillen in der Nervenzelle übrig bleiben, die Reize in umgekehrter Richtung leiten, als dieselbe oben angegeben wurde.

Teilt sich nun, etwa während der phyletischen Entwicklung, eine das nervöse Zentralorgan mit peripheren Teilen verbindende, vorerst noch nicht wesentlich differenzierte Zelle in zwei Zellen und werden diese beiden Zellen durch Differenzierung nunmehr zu nervösen Zellen, so wird die eine von ihnen besser als die andere die Reize von der Peripherie zum Zentralorgan leiten, die andere wird die umgekehrte Leitung besser besorgen können. Durch ihr öfteres Funktionieren befestigen sich diese Eigenschaften in ihnen mehr und mehr, weil die bt. Zellsubstanzen, die entsprechenden reizleitenden Fibrillen — vermöge des Bestehens von Schwellenwerten für alle Reize — verhältnismässig stärker arbeiten und wachsen als alle übrigen Zellsubstanzen. Daher wird die eine von jenen beiden Zellen zu einer sensibeln, die andere zu einer motorischen Nervenzelle.

Schon in jeder einzelnen Zelle haben die motorischen nervösen Fibrillen die Bestimmung, durch ihre Wirkungen die Reize zu vermindern, die vermittelst der sensibeln Fibrillen auf die Zelle ausgeübt worden sind. Demzufolge wird auch bei der Zellteilung und bei der darauffolgenden Differenzierung, diese Eigenschaft in passender Weise wiederkehren, soll die Zellvermehrung zu einem zweckmässigen Zellenstaat führen. Von jenen beiden differenzierten Nervenzellen muss also die motorische diejenigen Wirkungen hervorzurufen bestrebt sein, welche die auf die benachbarte sensible Nervenzelle wirkenden Reizursachen zu vermindern im stande sind. Nun treffen die sensibeln und die motorischen Nervenzellen, die unmittelbar aus einer einzigen Mutterzelle durch Teilung entstanden sind, das nervöse Zentralorgan an einer und derselben Stelle, sie müssen in einem und demselben nervösen Haupt- oder Nebenzentrum ihren Ursprung nehmen. Folglich sorgt schon die phyletische Entwicklung der Zellenstaaten dafür, dass in der Regel die durch sensible Nerven auf das nervöse Zentralorgan übertragenen Reize im ersten nervösen Neben- oder Hauptzentrum, in das jene sensibeln mit anderen sensibeln und mit motorischen Nerven einlaufen, diejenigen motorischen Nerven antreffen und erregen, welche durch ihre Wirkungen die Reizursachen vermindern. In selteneren Fällen wird sich ein sehr intensiver schmerzerregender Reiz weiter fortpflanzen, ein höheres nervöses Zentrum oder sogar das oberste Hauptzentrum zu erreichen im

stande sein. Es ist demnach nicht blosser Zufall (S. 86), wenn auch von dem Neugeborenen schon sehr bald nach dem Auftreten eines schmerzerregenden Reizes diejenige Handlung ausgeführt wird, die den Schmerz zu heben die geeignetste ist.

Energieumwandlungen.

Man könnte glauben, die Energie, die einem bestimmten Reiz entspricht, vermindere sich notwendigerweise, je weiter der Reiz fortgeleitet werde, weil die Reizleitung selber schon Energie absorbiere. Indessen muss jenes nicht durchaus der Fall sein. Jede Nervenzelle enthält nämlich reizleitende Substanzen, die sogar von denjenigen benachbarter, scheinbar ganz gleichartiger Nervenzellen verschieden sind, wenn auch die Unterschiede noch so gering sein mögen. Nun können aber die Substanzen einer in zweiter Linie vom Reiz erreichten Nervenzelle zersetzlicher sein und daher den aufgenommenen Reiz leichter bz. mit grösserer Intensität weiter leiten als diejenigen der zuerst gereizten Zelle, von der der Reiz herbeigeleitet worden ist. In diesem Falle löst ein schwächerer, in der ersten Zelle fortgeleiteter Reiz in der zweiten Zelle einen stärkeren Reiz aus. Zu einer derartigen Reizverstärkung ist allerdings eine gewisse Energie nötig, dieselbe wird aber geliefert durch die in den bt. Substanzen chemisch aufgespeicherten Energievorräte bz. durch die den Zellen vom ganzen Organismus gelieferte Nahrung, also etwa durch einen entsprechenden Blutzufluss. Umgekehrt kann auch der in der ersten Zelle kräftig verlaufende Reiz in einer zweiten gereizten Zelle nur einen schwach verlaufenden Reiz zur Folge haben, so dass in dieser Weise Energie scheinbar verloren geht, in Wirklichkeit aber nur in eine andere Energieform sich umwandelt. Auf solchen Verschiedenheiten der Reizleitung muss es namentlich beruhen, wenn schon in der gewöhnlichen Zelle die motorischen und die sensibeln nervösen Fibrillen aufs zweckmässigste zusammenarbeiten, also auch die günstigste Korrelation untereinander und überhaupt unter allen Zellsubstanzen herstellen. Wird nämlich eine sensible Fibrille gereizt, so schreitet nun in ihr eine bestimmte chemische Umwandlung bis ins Zentrum der Zelle fort. Dort aber werden in denjenigen motorischen nervösen Fibrillen die stärksten chemischen Umsetzungen

und daher Reizübertragungen zu stande kommen, welche die zweckmässigsten Bewegungsvorgänge oder Handlungen hervorbringen. Jede andere sensible Fibrille der Zelle erfährt im allgemeinen, wenn sie gereizt wird, etwas verschiedene chemische Umsetzungen und leitet dieselben zum Zentrum weiter; sie erregt daher entsprechend andere motorische Fibrillen, die eben auf die bt. durch den Reiz chemisch veränderten Substanzen leichter reagieren. Wirken mehrere sensible Fibrillen gleichzeitig, so erzeugt ihre Gesamtheit im nervösen Zentrum der Zelle wieder andere chemische Umsetzungen, die in entsprechend veränderter Weise auf motorische Fibrillen einwirken. Einer grossen Mannigfaltigkeit sensibler Einwirkungen auf das nervöse Zellenzentrum entspricht eine grosse Mannigfaltigkeit motorischer Vorgänge bz. Handlungen.

Entwicklung zweckmässiger Reizbahnen.

Unseren Entwicklungen zufolge wird also der von sensibeln Nervenzellen ins gesamte nervöse Zentralorgan herbeigeleitete Reiz, der ein Schmerzgefühl mit sich bringt, in erster Linie zu allen denjenigen motorischen Nervenkombinationen geleitet, welche in das gleiche nervöse Nebenzentrum einmünden. Er wird jede solche Kombination schwach erregen, die das Schmerzgefühl steigert, aber stark und länger andauernd nur die eine Kombination, die die schmerzlindernde Handlung nach sich zieht. Entsteht also in einem sensibeln Nerv ein so starker Reiz, dass er mit mehr oder weniger Schmerzgefühl verbunden ist, so arbeitet dieser Nerv, in dem alle Molekeln der reizleitenden Substanzen infolge der Erregung lebhaftere Eigenschwingungen ausführen (S. 23), andauernd und besonders intensiv nur mit jener letzteren günstigsten Kombination motorischer Nerven zusammen. Nur diese gleichsam zusammengehörige Nervengruppierung assimiliert gleichzeitig so stark, dass alle bt. Nerven zugleich wachsen, sich teilen, oder dass doch nervöse Fibrillen von ihren Fibrillen abgeschnürt werden. Daher entsteht eine Associationsbahn, es entstehen Associationsfasern, welche allen Nervenzellen jener günstigsten Kombination angelagert sind, welche die in solcher Weise zusammengehörenden, reizaufnehmenden und motorischen Zellen (z. B. Muskelzellen) noch unmittelbarer mit-

einander verbinden, als es bis dahin der Fall war. Sie entstehen als feinste Fibrillen, mit Umgehung des nervösen Zentrums, in das jener sensible und die zugehörigen motorischen Nerven einmünden. Bei öfterem Zusammenarbeiten der betrachteten Nervenzellen entsteht eine besondere Associationszelle, die aber, vermöge ihrer Entstehungsweise, noch durch einzelne nervöse Fibrillen mit dem letztgenannten nervösen Zentrum und sogar mit dem obersten Hauptzentrum zusammenhängt, so dass sie von diesem aus geleitet werden, dass sie umgekehrt auch dieses reizen kann (vgl. S. 10, 11). Sie hängt ferner durch nervöse Fibrillen noch zusammen mit allen sensibeln und motorischen Nervenzellen, die bei der Hervorbringung jener zweckmässigen Handlung namentlich in Funktion getreten sind. Es lässt also diese Associationszelle, wie andere früher betrachtete Associationszellen, eine weit ausgebreitete Verästelung erwarten.

Sobald eine solche Associationszelle zwischen einem den Reiz herbeileitenden sensibeln Nerv und den zugehörigen gereizten motorischen Nerven entstanden ist, wird der Vorgang der Verminderung des auf einen starken Reiz hin entstandenen Schmerzgefühls vereinfacht und beschleunigt. Der Reiz, der das Schmerzgefühl mit sich bringt, wird nämlich für die Folge durch Vermittlung der Associationszelle unmittelbar und verstärkt auf die Kombination motorischer Zellen (Muskelzellen) übertragen, die die schmerzvermindernde Handlung verursachen. Die Wegleitung für den Reiz von der reizaufnehmenden zu den motorischen Zellen wird in zweckmässigster Weise durch die Associationsbahn, also durch die neue Associationszelle gegeben. Die auf das Schmerzgefühl hin ausgeführte Handlung ist nicht mehr nur eine unter vielen möglichen, von mehr oder weniger günstigem Erfolg begleiteten Handlungen, wie vor der Entstehung der bt. Associationszelle, sondern sie ist eine ganz bestimmte, nämlich die zweckmässigste von allen. Die Handlung ist ursprünglich eine unbewusste. Es können aber sehr viele Handlungen späterhin zu bewussten werden, wenn einmal das Kind durch seine mannigfachen Empfindungen und Wahrnehmungen seine Selbstempfindung erlangt hat (S. 79).

Jeder einzelne sensible Nerv kann so stark gereizt werden, dass der von demselben auf das nervöse Zentralorgan übertragene Reiz ein gewisses Schmerzgefühl mit sich bringt. Jedem

besonderen Schmerzgefühl entspricht andererseits eine besondere schmerzlindernde Handlung. Nun kann aber die gleiche Handlung verschiedene Arten des Schmerzgefühls lindern bz. dasselbe in Lustgefühl umwandeln. Namentlich können aber bestimmte motorische Nervenzellen zur Linderung sowohl des einen als auch des anderen Schmerzgefühls herangezogen werden. Demzufolge werden ganz verschiedenartige der soeben beschriebenen Associationszellen an eine und dieselbe motorische Nervenzelle sich anlagern bz. von ihr Nervenfibrillen abspalten können. Diese letztere motorische Nervenzelle hat um so mehr zu arbeiten, je öfter Reize auf sie übertragen werden, je mehr Associationszellen sich also an sie angelagert bz. ihre Nervenfibrillen von ihr abgeschnürt haben. Bei genügend häufiger Inanspruchnahme der motorischen Nervenzelle assimiliert sie so stark, dass sie selber in entsprechendem Masse wächst, dass sie sich in zwei motorische Nervenzellen teilt. Diese differenzieren sich sogleich zu besserer Arbeitsteilung. Eine von ihnen bleibt in innigerem Zusammenhang mit dem ursprünglichen Nervensystem, zu dem die Mutterzelle gehörte. Sie sorgt fernerhin dafür, dass ohne alle äusseren Einflüsse auf den Menschen, ohne äussere, nur durch innere Reize der Organe oder der Zellengruppen oder der Zellen selber aufeinander, die richtige Korrelation der Teile des Körpers untereinander gewahrt bleibt. Sie bildet also, wie vorher die Mutterzelle, einen integrierenden Bestandteil des sympathischen Nervensystems. Die andere motorische Nervenzelle erhält dagegen die innigeren Verbindungen mit den sich an sie anlagernden Associationszellen. In sie senden alle diese Associationszellen einzelne Fibrillen ihrer Telodendrien hinein. Sie wird erregt namentlich von den Associationszellen aus, wenn diese selber durch Reize, die von aussen kommen, erregt worden sind. Diese zweite motorische Nervenzelle gehört daher nicht mehr dem sympathischen Nervensystem an.

Abstufungen von Lust und Unlust.

Wenn wir hier von Schmerz- bz. Unlustgefühl und von Lustgefühl sprechen, so müssen wir uns erinnern, dass es für solche Gefühle unermesslich viele Abstufungen giebt, vom unerträglichen Schmerz, der zum sofortigen Tod führt, bis zur ab-

soluten Schmerzlosigkeit, bis zur Indolenz, und von diesem Wendepunkt, der weder Schmerz noch Lust in sich birgt, giebt es unermesslich viele Abstufungen bis zur höchsten Lust. Nach unseren Vorstellungen (S. 83) hat ein Reiz des nervösen Zentralorgans oder von Teilen desselben, wenn er mehr und mehr an Intensität zunimmt, über ein gewisses Mass hinaus, ein Schmerzgefühl zur Folge. Bei einer sehr geringen Intensität, unter dem Schwellenwert des Reizes, ist seine Wirkung überhaupt unmerklich. Ueberschreitet aber der Reiz diesen Schwellenwert, so ist auch das geringste Schmerzgefühl schon da, nämlich ein ganz geringes Unlustgefühl, und ein solches hat Reizungen motorischer Nerven zur Folge, welche die schmerzvermindernden Handlungen verursachen. Weitere Steigerung des Reizes bewirkt also immer Unlust, Verminderung des Reizes dagegen Lust.

Wie aber ein unterhalb des Schwellenwertes verlaufender Reiz noch keine Empfindung hervorruft, und wie ferner eine geringe Aenderung einer Empfindung unmerklich ist, so dass wir eine gewisse Unterschiedsempfindlichkeit für die Empfindungen nachweisen können, so muss auch für die Lust- und für die Unlustgefühle eine gewisse Empfindlichkeit bestehen. Nur stärkere Aenderungen der Reizwirkung auf das nervöse Zentralorgan, also der Erregung dieses Zentralorgans, nehmen wir als Lust- bz. als Unlustgefühl wahr. Deswegen bleiben aber die schwächsten Aenderungen dieser Erregung doch nicht ohne Einfluss; vielmehr bewirken sie entsprechende Handlungen, auch wenn ein Lust- oder ein Unlustgefühl noch nicht zu unserer Wahrnehmung gelangt.

Allerdings müssen, der fortschreitenden Entwicklung zufolge, in der ersten Lebenszeit des Kindes die zunehmenden Erregungen des nervösen Zentralorgans und damit die Unlustgefühle noch ziemlich stark werden, bis die richtigen und zweckmässigen Handlungen sich eingestellt haben, die die wirksamen Reize genügend zu vermindern und das Unlust- in ein Lustgefühl zu verwandeln im stande sind. Weil aber, je öfter die bt. günstige Kombination zwischen Reiz und darauf folgender Handlung zu stande kommt, um so stärker wirksame Associationsbahnen (Associationsfasern oder sogar ganze Associationszellen) gebildet werden, genügen vom einen zum andern Mal immer schwächere Reize zur Auslösung der bt. Handlung, zuletzt so

schwache Reize, dass wir die entsprechende Steigerung der Erregung unseres nervösen Zentralorgans als Unlust gar nicht mehr empfinden. In analoger Weise kommen sehr starke, mehr oder weniger plötzliche Verminderungen der Erregung des nervösen Zentralorgans und daher entsprechend starke Lustgefühle nur in der Kindheit bei den ersten unlustvermindernden Handlungen vor; je öfter diese nämlichen Handlungen wiederholt werden, um so geringer werden die daraufhin zur Empfindung gelangenden Lustgefühle.

Man könnte glauben, diesen Anschauungen entsprechend würde eine sich gleich bleibende Erregung des nervösen Zentralorgans weder Lust- noch Unlustgefühle mit sich bringen, und doch muss zweifellos eine gewisse sehr starke Erregung in demselben ein fortgesetztes Schmerzgefühl hervorrufen. Indessen ist diese Erscheinung leicht zu verstehen. Hat eine Nervenerregung einen gewissen Wert überschritten, so wird in den bt. Nerven fortdauernd ein grösserer Betrag von Substanzen chemisch umgesetzt, als durch den Blutkreislauf in normaler Weise wieder rückverwandelt werden kann (S. 82). Es entstehen daher bei jener zu starken Erregung, solange dieselbe anhält, mehr und mehr neue Substanzen, die mit den übrigen Zellsubstanzen nicht mehr in ordnungsmässiger Korrelation stehen, die also einen störenden Einfluss ausüben. Eine solche in ihrem Inneren gestörte Nervenzelle übt auf die übrigen Zellen des nervösen Zentralorgans, zb. auf die nächsthöheren Zentralleitungszellen, nach Massgabe der Vermehrung ihrer störenden Substanzen, einen zunehmenden Reiz aus, und es entsteht daher, durch Vermittlung der obersten Zentralleitungszellen, ein andauerndes Unlust- bz. Schmerzgefühl.

Spezielle Handlungen.

Die Handlungen, die infolge eines Schmerzgefühls ausgeführt werden, sind nun überaus verschiedenartig. Wir wollen einige derselben nebst ihren wirkenden Ursachen im folgenden etwas näher beleuchten.

a) Schliessen der Augenlider bei zu hellem Licht.

Blickt das Auge des Kindes in ein überaus helles Licht, so werden seine sensibeln optischen Nerven dadurch stark erregt, so dass sie ein Schmerzgefühl auf das nervöse Zentralorgan übertragen. Nun sind offenbar die motorischen Nerven des Auges und daher auch die Nerven der Augenschliessmuskeln diejenigen, welche den sensibeln optischen Nerven insofern am nächsten stehen, als sie in einem der niedrigeren nervösen Nebenzentren mit ihnen zusammentreffen. Denn sie müssen ursprünglich alle aus unmittelbar benachbarten Zellen entstanden sein. Es wird also der schmerzende Reiz mehr oder weniger in erster Linie auf die Augenschliessmuskeln übertragen, und diese Uebertragung ist von dem günstigsten Erfolg begleitet. Nach mehreren solchen Reizen und jedesmal unmittelbar darauf folgendem Schliessen der Augenlider entsteht zwischen beiderlei Nervenarten, den sensibeln optischen und den motorischen Nerven der Augenschliessmuskeln, eine Associationszelle. Die genannten beiden Nervenarten arbeiten nämlich dabei gleichzeitig, sie assimilieren, wachsen, teilen sich, und es schnürt sich von ihnen eine Associationszelle ab, die mit nervösen Fibrillen an alle bei dem ganzen Vorgang beteiligten Nerven angeschlossen ist, so dass sie namentlich nach den sensibeln optischen Nervenfasern hin eine reiche Verzweigung aufweisen muss.

Jede Erregung der sensibeln optischen Nerven, die mit einem neu auftretenden Unlustgefühl verbunden ist, erregt nun zugleich die Associationszelle. Diese wirkt auf die motorischen Zellen der Augenschliessmuskeln ein und die Augenlider werden geschlossen. Dadurch wird das Unlustgefühl vermindert bz. in ein Lustgefühl verwandelt. Diejenigen nervösen Fibrillen aber, durch welche die Associationszelle mit dem nervösen Zentralorgan zusammenhängt, übertragen auf das Ich die Erinnerung an diesen speziellen Vorgang, der vom Unlustgefühl zum Lustgefühl hinüberführt. Je öfter ein optischer Reiz auf die Sehzellen so stark ist, dass er ein Schliessen der Augenlider nach sich zieht, um so intensiver wirkend wird die entsprechende Associationszelle, und um so rascher schliessen sich das nächste Mal die Augenlider schon auf verhältnismässig geringe Reize hin.

b) Abwenden des Blicks von grellen Farben.

Wenn aber das Unlustgefühl ein verhältnismässig geringes ist, wenn zb. das Licht, welches das Auge trifft, nur von einem Gegenstand in etwas grellen Farben herrührt, so werden die motorischen Nerven der Augenschliessmuskeln dadurch nicht kräftig genug gereizt, um die Augenlider zum Schliessen zu bringen. Würde nämlich ein Individuum schon nach jedem geringsten optischen Reiz seine Augenlider schliessen, so würde dasselbe mit seinen so häufig geschlossenen Augenlidern von anderen Nachteilen getroffen, die ihm viel schädlicher wären als jene etwas grelle Farbe. Dasselbe würde beispielsweise eine sichtbar herannahende Gefahr für sein Leben nicht immer frühzeitig genug bemerken, und ein solches Individuum hätte demnach einen Nachteil im Kampf ums Dasein den Individuen gegenüber, die ihre Augen nicht infolge der grellen Farben schliessen. Daher wird nur durch die Einwirkung der letzteren das Auge überhaupt noch nicht geschlossen.

Der Reiz aber, der durch einen grell gefärbten Gegenstand auf die sensibeln optischen Nerven ausgeübt wird, pflanzt sich weiter fort zu einem anderen, vielleicht zu einem höheren nervösen Zentrum, in das andere motorische Nerven einmünden. Er langt unter anderem an bei denjenigen motorischen Nervenzellen, die in ihrem Erregungszustand den Augapfel zu drehen vermögen. Das Drehen des Augapfels, das Abwenden des Blicks von den zu grellen Farben vermindert das Unlustgefühl. Das Hinlenken des Blicks auf eine nicht grelle Farbe, etwa auf das Grün des Waldes, der Wiese, auf das Blau des Himmels verwandelt dagegen das Unlustgefühl in ein Lustgefühl. Indessen weicht auch nach genügend anhaltender ausschliesslicher Empfindung der grünen Farbe des Waldes, der Wiese, der blauen Farbe des Himmels nach und nach das Lustgefühl, es macht einer gewissen Gefühllosigkeit Platz. Schliesslich geht dieselbe sogar in ein Unlustgefühl über (vgl. S. 106), das allerdings so schwach sein kann, dass es von einem anderen inzwischen hervorgetretenen Unlust- oder Lustgefühl ganz überdeckt wird, dass es nicht zur bewussten Wahrnehmung gelangt. Die öftere Empfindung zu greller Farben giebt daher jedenfalls zur Entstehung von Associationszellen Veranlassung, die die farbenreizleitenden,

die sensibeln optischen Nerven mit den motorischen, die Augendrehungen beherrschenden Nerven verbinden, und diese Associationszellen repräsentieren sodann für das Ich die Erinnerung, dass das Ablenken des Auges von grellen auf nicht grelle Farben das Unlustgefühl in ein Lustgefühl verwandelt.

c) Schliessen der Augenlider bei starker Annäherung von Fremdkörpern.

Wird ein fremder Gegenstand gegen das Auge bewegt, so schliessen sich gleichfalls die Augenlider. Die erste Berührung der Hornhaut des Auges mit einem Fremdkörper, vielleicht nur mit einem Teil des Linnens, in welches das Kind eingewickelt wird, hat einen schmerzenden Reiz auf die zugehörigen sensibeln Nerven ausgeübt, und von diesen auf die motorischen Nerven der Augenschliessmuskeln übertragen. Diese beiden Nervenarten, die sensibeln der Hornhaut und die motorischen der Augenschliessmuskeln, hängen vermutlich in einem der niedrigsten nervösen Zentren zusammen. Jener Reiz hat daher bald nach der Geburt, das heisst nach kurzer Uebung, eine völlig zweckentsprechende Wirkung zur Folge. Die Augenlider des bt. Auges werden geschlossen. Nach öfteren derartigen Berührungsreizen hat sich zwischen den entsprechenden sensibeln und motorischen Nerven eine besondere Associationszelle ausgebildet.

Die genannte Associationszelle spaltet jedoch Fibrillen, also Zweige ihrer Telodendrien auch von den optisch sensibeln Nerven ab. Denn der Fremdkörper, der die schmerzende Berührung hervorbringt, hat vorher vor der Berührung durch sein Bild die Sehzellen und die optisch reizleitenden Nerven gereizt. Um so stärker wurde dieser Reiz, je näher jener Körper gegen das Auge herankam, bis zu einem gewissen Grade. Bei jeder neuen Berührung ist nun wiederum das Zusammenarbeiten, der Zusammenhang da unter den sensibeln Nerven der Hornhaut, den motorischen Nerven der Augenschliessmuskeln und den optisch reizleitenden Nerven. Daher muss auch die neu entstehende Associationszelle auf dem Wachstum aller dieser Nervenzellen beruhen, aus ihnen allen hervorgehen. Sie muss zum mindesten einzelne nervöse Fibrillen von allen diesen Zellen abge-

schnürt haben, durch die sie auch noch bleibend mit ihnen zusammenhängt.

Der Anschluss der soeben erwähnten Associationszelle an die sensibeln optischen Nerven beruht zum Teil auf gleichzeitigen Erregungen, zum Teil aber auch auf zeitlich in gewisser Weise aufeinander folgenden Erregungen dieser optischen Nerven. Ganz bestimmte, zeitlich aufeinander folgende Veränderungen der Netzhautbilder gingen der Berührung der Hornhaut voraus, wie man sich leicht vorstellen wird, und dieser zeitlichen Aufeinanderfolge der Reize entsprechend musste die Associationszelle nervöse Fibrillen erhalten, die nach den sensibeln optischen Nerven verlaufen (S. 35).

Nähert sich nun wiederum nach Bildung dieser Associationszelle ein fremder Gegenstand dem Auge, so werden durch denselben die sensibeln optischen Nerven schon vor der Berührung der Hornhaut in bestimmter zeitlicher Aufeinanderfolge erregt, ganz ähnlich wie bei den früheren Berührungen. Diejenigen nervösen Fibrillen der Associationszelle, welche an die sensibeln optischen Nerven angeschlossen sind, werden demnach gleichfalls und in ganz ähnlicher Weise erregt, wie in den früheren Fällen, die zur wirklichen Berührung führten. Dadurch wird aber schon vor dieser letzteren auch die ganze Associationszelle selber erregt, und je stärker, je kräftiger sie bereits selber entwickelt ist, um so rascher und kräftiger wirkt sie durch Reizübertragung auf die zugehörige Kombination motorischer Nerven ein. Es werden nunmehr die Augenlider geschlossen, schon bei blosser zu starker Annäherung eines fremden Gegenstandes, der Erinnerung an das früher nach wirklicher Berührung erfolgte Schmerzgefühl entsprechend, und dadurch wird das Unlustgefühl bei zu starker Annäherung eines fremden Körpers vermindert.

d) Kompliziertere Handlungen bei starker Annäherung von Fremdkörpern.

Ist der sich nähernde fremde Gegenstand so gross, dass er nicht nur das Auge selber, sondern auch andere umliegende Körperteile, etwa den ganzen Kopf gefährdet, so ist das Schliessen der Augenlider nicht mehr genügend für den Schutz aller jener

Teile. Bei noch grösserem sich näherndem Gegenstand kann der ganze Körper gefährdet sein. Der Intensität und dem Umfang solcher Wirkungen entsprechend wird bei den erstmaligen, wirklich vorkommenden schmerzerregenden Berührungen durch solche Gegenstände der Reiz zu einem anderen, zu einem höheren nervösen Zentrum geleitet. Eine andere Kombination motorischer Nerven muss sich dabei als von besonders zweckmässiger Wirkung herausstellen. Diese Nervenkombination wird somit hauptsächlich zur Funktion gelangen. Sie wird zusammenarbeiten mit jenen stark erregten sensibeln Nerven, die das Schmerzgefühl verursachen. Es entsteht bei öfterer Wiederholung solcher schmerzender Berührungen eine besondere Associationszelle. Sobald diese entstanden ist, hilft sie rascher, als es bis dahin geschehen ist, diejenige Bewegung hervorbringen, die das entstehende Schmerzgefühl vermindert bz. dasselbe in ein Lustgefühl verwandelt. Schon beim blossen Herannahen des gefahrbringenden Gegenstandes wird diese Associationszelle in Erregung versetzt, und es wird infolgedessen die abwehrende, die gefahrabwendende Bewegung oder Handlung ausgeführt. Die Associationszelle selber repräsentiert während ihrer Erregung für das Ich die Erinnerung an die bt. Vorgänge der Reizung und der darauffolgenden abwehrenden Bewegung, an die Umwandlung eines entsprechenden Schmerzgefühls in ein Lustgefühl.

Auf solchem Weg entstehen die komplizierteren Bewegungsvorgänge zum Schutz des ganzen Menschen oder seiner Körperteile bei herannahender Gefahr, die rasche seitliche Bewegung des Kopfes, um einem heranfliegenden Gegenstand auszuweichen, die Bewegungen von Arm und Hand, um diesen Gegenstand abzuwehren, die Bewegungen des Rumpfes, die Bewegungen der Extremitäten, die selber getroffen werden könnten, die Fortbewegung des ganzen Menschen. Allen diesen und analogen Bewegungen zur Abwehr einer sichtbar herannahenden Gefahr entsprechen besondere Associationszellen, die die bt. Kombinationen motorischer Nerven und sensibler optischer Nerven in Verbindung bringen. Durch die nervösen Fibrillen, die alle diese Associationszellen an das nervöse Zentralorgan anschliessen, wird bei Erregung derselben im Ich die Erinnerung hervorgebracht, dass ein Schmerzgefühl früher in bestimmter Weise erzeugt, aber auch in bestimmter Weise wieder gehoben bz. in ein Lustgefühl

umgewandelt werden konnte. Namentlich geschah letzteres, wenn die durch Erregung der Associationszelle eingeleitete Erregung der bt. Kombination motorischer Nerven rasch genug erfolgte, noch vor dem zu starken Anwachsen des Schmerzgefühls.

e) Hinwenden des Blicks auf bewegte Gegenstände.

Die bis dahin behandelten Bewegungen sind hervorgebracht worden durch Reize, die die optisch reizleitenden Nerven der Netzhautgrube, also namentlich auch die Zapfen in derselben bz. die sensibeln Nerven der Hornhaut selber erregten. Andere optische Reize treffen Teile der Netzhaut, welche ausserhalb der Netzhautgrube sich befinden, an welchen Stellen vorzugsweise die auf Helligkeiten empfindlichen Stäbchen vorhanden sind, während die auf Farben empfindlichen Zapfen an denselben seltener werden. Trifft ein stärkerer Reiz die bt. mit den Stäbchen in Verbindung stehenden, optisch reizleitenden Nerven, so wird er auf das nervöse Zentralorgan übertragen, erreicht zunächst ein niederstes, ein sekundäres Nebenzentrum desselben. In dieses Zentrum laufen vor allen Dingen die motorischen Nerven des Auges selber ein, der embryonalen und der phyletischen Entwicklung zufolge. Es werden also Augenbewegungen ausgeführt auf jenen Reiz hin. Von diesen Bewegungen sind diejenigen die günstigsten, denen zufolge das Bild des den Reiz ausübenden Gegenstandes auf die Netzhautgrube gebracht wird. Daher werden diese Bewegungen ausgeführt, nämlich eine entsprechende drehende Bewegung des ganzen Augapfels und eine entsprechende Anspannung der Augenlinse zum Zweck der Accommodation.

Wenn diese Bewegungen des Auges zu stande kommen, wenn also jeder im Gesichtsfeld erscheinende und einen etwas hervortretenden Reiz auf die Netzhaut ausübende Gegenstand sofort fixiert und demnach rasch erkannt wird, so hat dadurch das bt. Individuum einen Vorteil im Kampf ums Dasein mit anderen Individuen ohne diese Einrichtung errungen. Erscheint nämlich im Gesichtsfeld ein Feind und wird derselbe durch sofortiges Fixieren rasch genug erkannt, so kann sich das bedrohte Individuum noch schützen, jedenfalls weit eher, als wenn es nur

diejenigen Gegenstände erkennen würde, deren Bild durch Zufall in die Netzhautgrube fällt. Oder gerät etwa ein Gegenstand von Nahrungswert in das Gesichtsfeld, so verschafft sich dasjenige Individuum diese Nahrung leichter, das dieselbe schneller deutlich sieht und erkennt, als ein anderes Individuum. Arbeiten die genannten sensibeln und motorischen Nerven öfters zusammen, so bildet sich aus denselben eine, oder es bilden sich mehrere Associationszellen aus. In diesem wie in den vorhin behandelten Fällen entstehen ausserdem, dem Bedarf entsprechend, neue motorische Nervenzellen, die für die Folge fast unabhängig vom sympathischen Nervensystem, dagegen abhängig von den an sie angelagerten Associationszellen ihre Funktionen verrichten, so wie wir es weiter oben schon beschrieben haben.

Ganz besonders wichtig sind für die Lebensfähigkeit des Individuums Gegenstände, die sich demselben rasch nähern, wie wir bereits betont haben (S. 102). Damals haben wir aber nur Rücksicht genommen auf diejenigen Gegenstände, welche sich in der Blickrichtung nähern, welche also immer auf der Netzhaut ein scharfes Bild erzeugen, wenn die Accommodation noch das Nötige dazu beiträgt. Mindestens ebenso wichtig ist es aber, dass fremde Gegenstände schnell genug erkannt werden, die ausserhalb der Blickrichtung sich rasch nähern, so dass ihre Bilder rasch über die Stäbchen der Netzhaut hinweggleiten. Erhalten die bt. optisch reizleitenden Nerven benachbarter Stäbchen solche zeitlich aufeinander folgende Reize schnell genug nacheinander, so übertragen sie ihre Reize in passender Weise durch entsprechende Nervenfibrillen (vgl. S. 94) auf diejenigen motorischen Nerven, welche den Augapfel so drehen, dass der Blick auf den Gegenstand gerichtet wird, und auf diejenigen motorischen Nerven, welche die Accommodation so regulieren, dass der im Gesichtsfeld rasch bewegte Gegenstand sogleich ein deutliches Bild auf der Netzhautgrube entwirft. Der Augapfel dreht sich sodann fortwährend, und die Accommodation wird fortwährend geändert, so dass von jenem Augenblick an der bewegte Gegenstand immer deutlich gesehen wird, so lange als es notwendig oder zweckmässig ist. Von den besprochenen optisch reizleitenden und motorischen Nervenzellen haben sich Associationszellen abgeschnürt, nach öfterer Wiederholung solcher gleichzeitiger Vorgänge, welche Associationszellen bewirken, dass von

nun an die genannten Vorgänge ganz regelmässig fast reflexmässig aufeinander folgen (vgl. S. 84).

f) Herumschweifen des Blicks durch Ermüdung.

Eine zu grosse Helligkeit oder auch nur eine zu grelle Farbe kann für die Augen so schmerzhaft sein, dass sich ihre Augenlider schliessen. Die Reize sind zu stark, die dabei ausgeübt, auf das nervöse Zentralorgan übertragen werden; die bt. reizaufnehmenden oder reizleitenden Zellen ermüden dabei zu rasch (I. S. 157). Es kann aber eine Ermüdung auch eintreten durch langes Fixieren eines Gegenstandes, der sonst nur schwache Reize ausübt (vgl. S. 100). Die Ermüdung zieht eine entsprechende Reizung des nervösen Zentralorgans, also ein Unlustgefühl nach sich. Diejenigen motorischen Nerven werden infolgedessen am stärksten gereizt, welche dieses Unlustgefühl heben, welche den durch langes Fixieren entstandenen Reiz vermindern können, also nicht nur die motorischen Nerven der Augenschliessmuskeln, sondern auch diejenigen, welche die Drehungen des Augapfels und die Accommodation beherrschen. Namentlich bei schwächeren, aber lange andauernden Reizen, die schliesslich zur Ermüdung führen, treten die letztgenannten beiden Nervenkombinationen in Thätigkeit.

Ein Gegenstand, der länger fixiert worden ist, wird somit aufgegeben, wenn er Ermüdung hervorzurufen beginnt. Das Auge schweift von ihm ab. Weil sich aber von den optisch reizleitenden und von den motorischen Nervenzellen, die bei diesem Gesamtvorgang gleichzeitig in Betracht kommen, besondere Associationszellen abspalten, fixiert das Auge, wenn es nach der Geburt des Kindes einige Zeit funktioniert hat, in der Regel nur kurze Zeit die Gegenstände. Oder wenn ein Gegenstand als solcher länger betrachtet wird, schweift doch das Auge auf den einzelnen Teilen desselben herum. Es verfolgt die Begrenzungslinien, die Kanten, die Ecken oder sonstige besonders sich abhebende Teile desselben. Dadurch wird nämlich erreicht, dass nie das Unlustgefühl durch zu langes Fixieren einen besonders hohen Grad erreicht, dass dasselbe wenigstens in der Regel nicht unerträglich wird. Schweift das Auge ganz von dem bisher betrachteten Gegenstand ab, so geht es im allgemeinen auf den-

jenigen anderen Gegenstand über, welcher bis dahin ausserhalb der Blickrichtung lag, welcher aber dabei von allen im Gesichtsfeld befindlichen Gegenständen den stärksten Reiz auf ausserhalb der Netzhautgrube liegende Netzhautteile ausgeübt hat. So schweift das Auge beständig auf den gesehenen Gegenständen herum, richtet seinen Blick bald auf diesen, bald auf jenen Teil eines Gegenstandes, oder bald auf diesen, bald auf jenen Gegenstand selber.

g) Bewegungen verursacht durch zu starken Schall.

In ähnlicher Weise werden Associationszellen erzeugt, die Verbindungen zwischen akustisch reizleitenden und motorischen Nerven herstellen. Geht von einer Schallquelle ein Schall aus, der so stark ist, dass er in unseren Ohren ein Schmerzgefühl hervorruft, so suchen wir dieses Schmerzgefühl zu lindern, entweder indem wir mit den Händen die Ohren verschliessen, oder indem wir uns von der Schallquelle oder die Schallquelle von uns entfernen. Alle drei Bewegungsarten werden anfangs verhältnismässig langsam und nur auf ein wirkliches Schmerzgefühl hin ausgeführt. Nachdem dieselben aber mehrmals wiederholt worden sind und jedesmal von Erfolg begleitet waren, haben sich für die bt. Vorgänge Associationszellen ausgebildet. Die Bewegungen erfolgen von diesem Zeitpunkt an ganz bestimmt auf die bt. Reize hin. Weil solche Associationszellen gebildet sind, die die Verbindung der akustisch reizleitenden und der motorischen Nervenzellen zu einer sehr innigen gestalten, erfolgt die genügende Erregung dieser motorischen Nerven nunmehr schon, wenn nur ein Unlustgefühl, noch gar kein wirkliches Schmerzgefühl entstanden ist. Sie erfolgt schon, wenn die Schallquelle einen Schall hervorbringt, der stärker und stärker wird, so dass er bis zur Erzeugung eines Schmerzgefühls anzuwachsen droht. Durch die Erregung der Associationszelle wird daher das Zustandekommen des wirklichen Schmerzgefühls vermieden. Diese Associationszelle steht wiederum, wie alle übrigen Associationszellen, mit dem nervösen Zentralorgan durch besondere nervöse Fibrillen in Verbindung. Sie bringt daher in ihrem Erregungszustand im Ich die Erinnerung hervor an das durch den bt. Reiz bewirkte Schmerzgefühl und an diejenige Bewegung, die

dieses Schmerzgefühl in ein Lustgefühl umwandelt, wenn sie im passenden Augenblick ausgeführt wird.

h) Wirkungen von Dissonanzen.

Die akustisch reizleitenden Nerven können noch in mancher Weise bis zu starkem Schmerzgefühl erregt werden. Dissonanzen rufen beispielsweise namentlich im musikalischen Ohr ein Schmerzgefühl hervor. Werden also akustische Nerven, die die Reize fast gleicher Tonhöhen vom Ohr auf das nervöse Zentralorgan übertragen, gleichzeitig erregt, so führt diese Erregung bald zu einem wirklichen Schmerzgefühl schon bei geringer Intensität der bt. Töne. Wenn hingegen alle akustisch reizleitenden Nerven sehr rasch nacheinander erregt werden, so dass etwa die Nerven unmittelbar benachbarter Tonhöhen einander ablösen, so giebt diese Inanspruchnahme bei mässiger Intensität der Töne doch zu keinem Schmerzgefühl Veranlassung. Sehr hohe und schrille Töne können schmerzhaft sein, vielleicht dadurch, dass durch sie Schallwellen von verschiedenen, aber doch nahezu gleichen Wellenlängen übertragen werden, ähnlich wie es bei den Dissonanzen der Fall ist. Die Mittel zur Linderung des Schmerzgefühls bei Dissonanzen sind dieselben Bewegungen, die auch gegen die Einwirkung eines zu starken Schalls ausgeführt werden, also Verschliessen der Ohren, Fortbewegen des hörenden Individuums oder Entfernung des tönenden Objekts.

i) Wirkungen zu starker Gerüche.

Die Riechnerven können gleichfalls bis zu schmerzhaften Empfindungen erregt werden. Die schmerzhaft erregten Riechnerven wirken namentlich auf diejenigen motorischen Nerven ein, die das Hindurchsaugen von Luft durch die Nase verhindern. Es kann eine Bewegung von Arm und Hand ausgeführt werden, um die Nase zu verschliessen. Der Mensch kann die Riechquelle von sich entfernen, oder er kann sich selber von derselben entfernen. Er kann auch seine Lungenthätigkeit vorübergehend einstellen, das heisst, wenigstens das Einatmen der Luft eine Zeit lang unterbrechen. Für jeden von diesen vor zu

lästigem Geruch schützenden Bewegungsvorgängen ist im Laufe der Entwicklung des Kindes eine besondere Associationszelle in seinem nervösen Zentralorgan entstanden. Ist dies geschehen, so schützt sich nunmehr das Kind vor dem scharfen Geruch, vermöge der Erinnerung an die früheren Vorgänge, schon bevor der Geruch ein wirkliches Schmerzgefühl hervorgerufen hat.

k) Wirkungen zu starker Geschmäcke.

Gegenstände, die ein schmerzhaftes Geschmacksgefühl bewirken, werden ausgestossen aus dem Munde, sie werden ausgespieen. Zweifellos stehen einerseits die Geschmacksnerven und andererseits die ihnen benachbarten motorischen Nerven der Zunge und des Mundes, die das Ausfliessenlassen unzuträglicher Substanzen aus dem Mund in erster Linie bewirken, in einem der niedersten nervösen Nebenzentren miteinander in Verbindung, so dass auf die schmerzhafte Erregung jener Geschmacksnerven unmittelbar die Erregung dieser motorischen Nerven folgt. Wenn aber bei fortschreitender Entwicklung des Kindes sehr unzuträgliche schmerzerregende Substanzen in den Mund gelangen, so werden zur rascheren Entfernung derselben noch weiter entfernte motorische Nerven herangezogen. Es funktionieren demnach motorische Nerven, welche die Lunge veranlassen, die von ihr eingesogene Luft möglichst rasch durch den Mund zu entfernen. Durch den an der Zunge vorbeifliessenden Luftstrom werden die schädigenden Substanzen mitgerissen. Diese Substanzen werden unter der Mithilfe entsprechender Mund- und Zungenmuskeln ausgespieen. Wiederum entsteht für jede Kombination von Geschmacksreizen und von daraus folgenden öfters gleichzeitig hervorgebrachten Bewegungen eine besondere Associationszelle, die den bt. Bewegungsvorgang um so leichter zu stande kommen lässt, je weiter sie sich selber bereits entwickelt hat.

l) Wirkungen schmerzender Berührungen.

Fast überall in der ganzen äusseren und an einem grossen Teil der inneren Oberfläche des menschlichen Körpers endigen Fibrillen von Tastnerven, die dem Ich die Empfindungen von

harten oder weichen, von warmen oder kalten, von trockenen oder feuchten Gegenständen übermitteln. Diese Tastnerven können, wie alle sensibeln Nerven, bis zum Schmerzgefühl erregt werden. Nun lindern gewisse Bewegungsvorgänge das Schmerzgefühl, indem zb. durch dieselben entweder der eigene Körper von den schmerzhaft wirkenden Gegenständen, oder diese von jenem entfernt werden. Solche Bewegungen kommen öfters zu stande, und es entstehen für die bt. Vorgänge Associationszellen, die nunmehr die Bewegungen hervorrufen, wenn nur ein entsprechender Reiz stark zu werden beginnt, so dass er sich bis zur Schmerzhaftigkeit steigern könnte. Denn die Associationszelle verkörpert gleichsam für das Ich die Erinnerung an einen früheren Schmerz, der in bestimmter Weise durch Bewegungen gelindert wurde. Durch die Erregung dieser Associationszelle verwandelt sich daher auch das Schmerzgefühl, das schon vor seinem stärkeren Anwachsen mehr oder weniger als Unlustgefühl empfunden wurde, in ein Lustgefühl.

m) Sekretionen.

Die Nerven, die wir allgemein unter den motorischen zusammengefasst haben, beeinflussen nicht nur die kontraktilen Substanzen, die Muskeln, so dass sie offenkundige Bewegungen hervorrufen, sondern auch die übrigen Substanzen, wie zb. die sezernierenden, mit anderen Worten, sie beeinflussen auch die sezernierenden Organe. Manche Schmerzgefühle werden gelindert durch entsprechende Sezernierungen. In solcher Weise werden von den Thränendrüsen die Thränen, an allen Schleimhäuten und an fast allen Stellen der Oberhaut werden andere Sekrete abgesondert. Für alle diese Vorgänge entstehen bei der Entwicklung des Kindes nach und nach Associationszellen, welche die bis zu schmerzhafter Empfindung erregten sensibeln Nerven unmittelbar mit den bt. die Sekretionen bewirkenden motorischen Nerven verbinden, und welche sodann schon auf verhältnismässig schwache Reize hin in Funktion treten, die Sekrete zur Absonderung bringen, bevor noch das Schmerzgefühl als solches wirklich lästig empfunden worden ist.

n) Schreiweinen.

Ueberaus wichtig ist das Schmerzgefühl, das vom Magen ausgeht. Alle Körperteile, alle Körperzellen brauchen ihre Nahrung. Sie beziehen dieselbe namentlich vom Blute, und dieses wird wieder erneuert vermittelst der Nahrungssäfte. Ist Nahrungsmangel im Blute vorhanden, so wird von den blutbildenden Organen ein Reiz auf die Magen- und Darmschleimhäute ausgeübt, der die entsprechenden verdauenden Zellen zur Thätigkeit, zur Aufnahme bz. Abgabe von Nahrungssäften anregt. Wenn keine Nahrung im Magen und in den Gedärmen vorhanden ist, entsteht durch besondere sensible Nerven die schmerzhafte Empfindung des Hungers. Dieses Schmerzgefühl ist eines der ersten, die sich beim neugeborenen Kinde geltend machen. Wie es bei den anderen schmerzhaft erregten sensibeln Nerven der Fall ist, wirken auch jene sensibeln Nerven des Magens auf gewisse motorische Nerven ein, zb. auf diejenigen, welche die Lunge zum plötzlichen Ausstossen der in ihr enthaltenen Luft veranlassen, auf motorische Nerven, welche zahlreiche Muskeln von Mund, Nase, Kehlkopf usf. regieren, auf motorische Nerven, welche die Thränendrüsen zu stärkerer Sezernierung veranlassen. Infolge des geeigneten Zusammenwirkens der entsprechenden Organe entsteht das schreiende Weinen des Kindes, ein überaus wichtiger Vorgang. Vermöge des innigen Zusammenhangs der genannten motorischen Nerven des ererbten sympathischen Nervensystems geben schmerzhafte Erregungen der verschiedensten sensibeln Nerven besonders leicht Veranlassung zur Entstehung besonderer Associationszellen, die diese sensibeln Nerven mit jener Kombination motorischer Nerven verbinden. Wie die ersten schmerzhaften Empfindungen im Verlauf der Geburt, wie diejenigen beim erstmaligen Eintreten der Luft in die Lunge, so wirkt auch die schmerzhafte Empfindung des Hungers unter anderem auf die genannte Kombination motorischer Nerven ein. Das Kind schreit und weint, vielleicht zuerst scheinbar nur zufällig (S. 93), wie wegen irgend einer anderen schmerzhaften Empfindung, wenn es Hunger hat.

Das Schreiweinen des Kindes bringt demselben an sich wohl selten eine unmittelbare Linderung eines stärkeren Schmerzgefühls. Es macht aber die Mutter aufmerksam auf das Schmerz-

gefühl des Kindes. Sie reicht demselben Nahrung, womit jenes Schmerzgefühl des Hungers verschwindet. Jedesmal folgt auf eine genügend schmerzhafte Hungerempfindung das Schreiweinen des Kindes, auf das Schreiweinen desselben die Verabreichung von Nahrung seitens der Mutter und damit Linderung des Schmerzgefühls, der schmerzhaften Hungerempfindung. Also entsteht eine Associationszelle von den sensibeln Nerven, welche die schmerzhafte Hungerempfindung dem Ich übermitteln, zu den motorischen Nerven, welche das Weinen und Schreien bewirken. Je sicherer jedesmal unmittelbar auf das Schreien des Kindes das Stillen seines Hungers folgt, um so schneller und kräftiger wird die bt. Associationszelle ausgebildet. Durch um so geringere Hungerempfindungen wird daher späterhin gerade diese Associationszelle erregt, deren Erregung das Schreiweinen des Kindes zur Folge hat.

o) Aufnehmen der Nahrung.

Wird dem Kind die erste Nahrung verabreicht, so kommt dabei in erster Linie ein fremder Gegenstand mit seinen Lippen in Berührung. Die sensibeln Nerven in den Lippen übertragen den Berührungsreiz auf motorische Nerven. Nun haben diejenigen motorischen Nerven, die ein Ansaugen der Nahrung vermittelst des Mundes und der Lunge herbeiführen, die günstigste Wirkung. Denn ihr Funktionieren hat das Ansaugen der Nahrung und damit im Mund das Lustgefühl der Süssigkeit der dargebotenen Nahrung zur Folge. Durch die bt. Geschmacksreize wird das Saugen verstärkt. Durch dieselben oder durch Berührungsreize auf gewisse innere Teile des Mundes bz. der Verdauungskanäle werden die Schluckbewegungen, die Vorwärtsbewegungen der Nahrungsmassen aus dem Mund in den Magen, aus diesem in den Dünndarm herbeigeführt, zur Verdauung, unter gleichfalls auf geeignete Reize hin erfolgender Absonderung mannigfacher Sekrete in Mund, Magen und Dünndarm. Durch andere Berührungsreize, chemische Reize, die eine Art unbewusster Geschmacksempfindungen nach sich ziehen, werden endlich die unverdaulichen Massen in den Dickdarm und aus diesem heraus befördert (II, S. 111). Der phyletischen und auch der embryonalen Entwicklung zufolge stehen die bt. sensibeln und

motorischen Nervenzellen in niedrigsten nervösen Nebenzentren miteinander in Verbindung. Für die Vorgänge des Ansaugens und des Weiterbeförderns der Nahrung, die scheinbar zuerst noch teilweise zufällige sein könnten (vgl. S. 93), werden alsbald Associationszellen ausgebildet, wegen der häufigen Wiederholung derselben. Ist dies aber einmal geschehen, so erfolgt das Ansaugen und die Weiterbeförderung der Nahrung stets schon vom ersten Augenblick ihrer Darreichung an mehr oder weniger reflexmässig.

Je sicherer und unmittelbarer auf das Schreien des Kindes wegen Verlangens nach irgend einem Gegenstand oder aus irgend einer anderen Ursache die Linderung seines Schmerzgefühls von der Mutter bewirkt wird, um so rascher entsteht für den bt. Vorgang eine besondere Associationszelle, um so vollständiger bildet sie sich aus, so dass für die Folge schon bei einem ganz geringen Schmerzgefühl das Kind wieder zum Schreien veranlasst wird. Denn die Linderung seines Schmerzgefühls erfolgt — nach Massgabe der Ausbildung jener Associationszelle — immer noch früher, zuletzt schon, bevor überhaupt ein Schmerzgefühl lästig verspürt wird. Mit der Häufigkeit der Wiederholung dieses Gesamtvorgangs wird die zugehörige Associationszelle immer noch kräftiger, und immer rascher entsteht somit nach dem allergeringsten Unlustgefühl das Schreien des Kindes. Durch übermässig rasche und regelmässige Linderung des Schmerzgefühls des Kindes auf das Schreien desselben wird die Mutter des Kindes Sklavin; für dessen weitere Entwicklung bringt sie demselben aber dadurch keinen wirklichen Nutzen, vielmehr nur Schaden.

Wird dagegen des Kindes Verlangen nach einem Gegenstand, zb. nach der Nahrung, nicht immer sofort erfüllt, so macht das Kind bald den Versuch, sich selber zu helfen. Es sieht den Gegenstand, welcher ihm zur Nahrung dient, bz. welcher in ihm, seiner Erfahrung zufolge, das Schmerzgefühl in ein Lustgefühl verwandelt. Durch gewisse auf den genannten optischen Reiz hin von ihm vorgenommene Bewegungen wird das beginnende Schmerzgefühl in ein Lustgefühl verwandelt. Es führt diese Bewegungen aus und gelangt dazu, durch dieselben den Gegenstand seines Verlangens zu sich heranzuziehen. Ist das Heranziehen des zur Nahrung dienenden Gegenstandes einige

Male von Erfolg begleitet gewesen, so hat sich für diesen auf die Hungerempfindung folgenden Bewegungsvorgang eine besondere Associationszelle ausgebildet, die die bt. sensibeln und motorischen Nerven unmittelbar miteinander verbindet. Von nun an werden zur Nahrung dienende Gegenstände herangezogen, zuerst nur mit den Lippen, dann mit den Armen und Händen; in späteren Entwicklungsperioden aber bewegt sich das Kind selber zur Nahrung hin, um dieselbe zu holen.

Bewusstwerden der Gefühle.

Jede von den im letzten Abschnitt genannten Associationszellen ruft, wenn sie erregt ist — vermöge ihrer mit höheren Zentren des nervösen Zentralorgans verbundenen Fibrillen — im Ich die Erinnerung hervor, dass ein Schmerzgefühl durch einen bestimmten Reiz entstanden ist, und dass dieses Schmerzgefühl durch eine bestimmte Handlung in ein Lustgefühl verwandelt werden konnte, wie wir schon öfters erwähnt haben. Ist aber die Selbstempfindung des Kindes soweit zu stande gekommen, dass die Empfindung eines auf den Körper wirkenden Reizes zu einer bewussten geworden ist, so muss auch das durch diesen Reiz bei zu grosser Intensität desselben hervorgerufene Schmerzgefühl ein bewusstes werden. Das Lustgefühl, in das jenes Schmerzgefühl bei geeigneter Handlung übergeht, muss zu einem bewussten Gefühl werden. Je kräftiger diejenigen Fibrillen ausgebildet sind, die eine Associationszelle mit den Zellen der höchsten Zentralleitung verbinden, um so leichter werden die bt. Gesamtvorgänge und somit auch die durch dieselben bewirkten Unlust- und Lustgefühle zu bewussten. Immer mehr gelangen dem Kind im Lauf seiner Entwicklung Schmerzgefühl, Unlustgefühl und Lustgefühl zu bewusster Wahrnehmung.

Bewusstwerden der Handlungen.

Wir haben früher (S. 96) erwähnt, dass eine und dieselbe Handlung verschiedene Arten von Schmerzgefühlen zu heben, und dass eine und dieselbe motorische Nervenzelle bei verschiedenartigen schmerzstillenden Handlungen mitzuwirken im stande ist. Demnach müssen sich ganz verschiedenartige Asso-

ciationszellen an eine und dieselbe motorische Nervenzelle anlagern. Vermöge ihrer vielfachen Inanspruchnahme und ihres vielfachen Arbeitens teilt sich diese selber in zwei motorische Nervenzellen, von denen die eine, wie bis dahin die Mutterzelle, dem sympathischen Nervensystem verbleibt, während die andere namentlich mit allen angelagerten Associationszellen verkettet bleibt und für die Folge nicht mehr zum sympathischen Nervensystem gehört.

Indessen hat die letztere motorische Nervenzelle doch ihre innige Verbindung mit dem nervösen Hauptzentrum behalten; denn sie hat sich ja von einer Zelle des nervösen Zentralorgans, nämlich des sympathischen Nervensystems abgeschnürt. Durch besondere nervöse Fibrillen bleibt sie daher mit den obersten Zellen des nervösen Zentralorgans in Verbindung, und wird sie von einer an sie angelagerten Associationszelle aus erregt, kommt demnach eine Handlung durch sie zu stande, so wird durch jene Fibrillen das nervöse Zentralorgan gereizt. Dieses erhält Kenntnis von dem Erregungszustand jener motorischen Nervenzelle. Das Ich empfindet dadurch, dass es handle, vermittelst der genannten Nervenzelle. Zugleich kommt die eben ausgeführte Handlung durch irgend einen Sinn, durch Tast-, Gesicht-, Gehörsinn usf. zur bewussten Empfindung des Ich, oder das Ich empfindet wenigstens die Folgen der Handlung in bewusster Weise. Dadurch wird aber die Handlung selber immer mehr zu einer bewussten.

Eine Wirkung von aussen, die zwar eine Empfindung hervorruft, kann indessen so schwach sein, dass sie nur einen eben noch merklichen motorischen Vorgang im Gefolge hat. Das Bewusstwerden dieses Vorganges ist dann ein entsprechend geringes. Durch den entsprechenden Gesamtvorgang (Reizempfindung und Handlung) sind, vermöge des Assimilierens der nervösen Substanzen beim Arbeiten, neue Fibrillen gebildet worden, wenn auch unter Umständen nur solche von molekularen Durchmessern, Fibrillen von sensibeln zu motorischen Nervenzellen, aber auch solche zum nervösen Hauptzentrum hin. Diese Fibrillen bilden Associationsbahnen, und wenn nun irgend welche Reize ganz anderen Ursprungs durch dieselben geleitet werden, so kommt doch vermittelst des nervösen Zentralorgans im Ich die Erinnerung zu stande an jenen Vorgang, der zu ihrer Ent-

stehung führte. Werden nämlich bald nach jenem oben erwähnten eben merklichen Vorgang neue Reize durch die neu gebildeten Fibrillen geleitet, Reize, die von irgend einer anderen Stelle des Nervensystems herkommen mögen, so bringen sie jenen Vorgang in Erinnerung, um so besser, je schneller nach seinem Ablauf der neue Reiz die bt. Associationsbahn erreicht; denn um so vollständiger sind die durch jenen Vorgang neu gebildeten nervösen Fibrillen noch erhalten (S. 36). Es kann in solcher Weise vermöge der bald nach einem neuen Vorgang erfolgten Erregung analoger, vielleicht parallel verlaufender Associationsfasern eine ursprünglich unbewusst ausgeführte Handlung nachträglich zu einer bewussten werden.

D. Erziehungseinflüsse.

Differenzierung des Schreiens.

Schon von der Geburt an schreit das Kind nach seiner Nahrung, bald stark, bald schwach, das eine Mal in höheren, das andere Mal in tieferen Tönen. Durch das Schreien werden die Muskeln geübt, welche die Lungenkontraktion und -dilatation bewirken, die Muskeln, welche die Stimmbänderstellung regulieren, die Muskeln, welche den Kopfteilen, namentlich Mund und Nase ihre verschiedenen Gestalten zu geben im stande sind. Bei Schmerzgefühlen, die durch irgend welche andere Ursachen als den Hunger hervorgerufen werden, schreit das Kind auch, aber etwas anders, in anderen Tönen, mit anderen Nebengeräuschen, und die aufmerksame Mutter unterscheidet bald das Schreien aus Hunger von dem Schreien infolge andrer Schmerzgefühle. Immer weiter differenzieren sich die vom Kind schreiend hervorgebrachten Geräusche. Es entstehen scheinbar ganz unverständliche Laute, welche aber aus bestimmten Empfindungen des Kindes hervorgehen und welche von der Mutter schon verstanden werden, lange bevor das Kind sprechen kann.

Lallen und erste Sprechübung.

Mit der Zeit hat sich infolge des bald mehr, bald weniger günstigen Erfolgs das Lallen des Kindes so weit differenziert,

dass mit dem Sprechenlehren begonnen werden kann. Die Nahrung ist, wenn sie fehlt, namentlich in der frühesten Jugend der wichtigste Gegenstand des Schmerzgefühls, wenn sie dargereicht wird, umgekehrt der Gegenstand des Lustgefühls. Die Mutter versucht also, dem Kinde die Nahrung, die es durch Schreien begehrt, vorzuenthalten, bis es das ihm vorgesprochene, von ihm schon oft gehörte Wort nachzuahmen beginnt, das Wort nämlich, welches entweder die Nahrung, oder die Mutter selber bezeichnet, beispielsweise „Mama“. Eine fast noch unverständliche Nachahmung des vorgesprochenen Wortes genügt zuerst, um die Mutter zur Verabreichung der gewünschten Nahrung zu veranlassen. Dadurch verwandelt sich im Kind das Schmerzgefühl, das durch Entbehren der Nahrung, insbesondere wenn dieselbe noch vor seinen Augen stand, hervorgerufen wurde, in Lustgefühl. Ist derselbe Vorgang des Vorenthaltens der Nahrung, bis das verlangte Wort „Mama“ sprechend nachzuahmen versucht wurde, mehrmals wiederholt worden, so haben jedesmal die sensiblen Nerven, welche die Hungerempfindung im Ich hervorrufen, mit denjenigen motorischen Nerven zusammengearbeitet, welche vermittelst der Lunge, der Stimmritze, des Mundes, der Nase usf. die sprachliche Nachahmung des Wortes Mama zu stande brachten. Für diese Nervenkombination ist also infolge ihres Zusammenarbeitens durch Assimilation, Wachstum und Teilung der bt. Nervenfibrillen bz. Nervenzellen eine neue Zelle, eine besondere Associationszelle entstanden, welche, wenn sie von jenen sensiblen Nerven erregt wird, sofort das Sprechen des Wortes Mama hervorbringt, wodurch sehr bald das Schmerzgefühl in ein Lustgefühl verwandelt wird. Aber immer zurückhaltender wird die verständige Mutter mit der Erfüllung des kindlichen Verlangens. Sie ruht nicht, bis das Wort Mama vom Kind klar und deutlich ausgesprochen wird, das heisst bis die entsprechende Associationszelle des nervösen Zentralorgans mit allen zu dem komplizierteren Vorgang des deutlichen Sprechens notwendigen Verzweigungen ihrer Fibrillen ausgestattet ist.

Hat das Kind andere Schmerzgefühle irgend welcher Art, so schreit es anfangs, wie es nach Nahrung schreit. Nachdem infolge der Bildung einer Associationszelle für den Vorgang der Hungerstillung durch die Mama nach dem Mamarufen das Kind

die Erinnerung erhalten hat an diesen Vorgang, die Erinnerung daran, dass das Schmerzgefühl des Hungers durch Sprechen des Wortes Mama wenigstens mittelbar in ein Lustgefühl verwandelt wurde, wird es bei anderen mehr oder weniger ähnlich schmerzhaft wirkenden Empfindungen gleichfalls Mama rufen. Mama lindert wiederum den Schmerz. Es verwandelt sich sein Schmerzgefühl in ein Lustgefühl. Wird derselbe Vorgang öfters wiederholt, so verbindet eine dadurch neu entstandene Associationszelle die bt. diesmal die Schmerzempfindung übertragenden sensiblen Nerven mit denjenigen motorischen Nerven, die das Aussprechen des Wortes Mama veranlassen. Mehr und mehr wird von nun an bei jedem auftretenden Schmerzgefühl dieses erlösende Wort gesprochen. Die Mama ist für das Kind der Inbegriff alles Guten.

Lächeln.

Das sehende Kind erblickt im allgemeinen jedesmal die Mama sehr bald, nachdem es Mama gerufen hat. Es empfindet demnach bei ihrem Erscheinen nicht nur die Erlösung von dem Schmerzgefühl, die Umwandlung desselben in ein Lustgefühl, sondern es empfindet im gleichen Augenblick vermittelst seiner Sehnerven auch das optische Bild der Helferin. Daher arbeiten die entsprechenden optischen Nervenzellen gleichfalls an der Bildung der Associationszelle mit, die die Mama als Helferin in aller Not darstellt; auch zu ihnen erstrecken sich nervöse Fibrillen von dieser Associationszelle aus. Das Kind sieht von nun an, wenn es irgend etwas schmerzhaft empfindet, gleichsam mit geistigem Auge das Bild der helfenden Mutter vor sich, die jedes Schmerzgefühl in Lustgefühl umzuwandeln versteht. Dieses geistige Sehen kommt zu stande der Erinnerung zufolge, die jene neugebildete Associationszelle im Kind aufrecht erhält.

Das Mamarufen allein verwandelte aber niemals das Schmerzgefühl unmittelbar in ein Lustgefühl. Vielmehr konnte erst das wirkliche Erscheinen und Eingreifen der Mama solches bewirken. Erscheint also bei nunmehr vorhandenen Schmerzgefühlen die Mama, nachdem sie gerufen wurde, so steht die Verminderung des schmerzenden Gefühls schon nahe bevor. Immer näher rückt der Zeitpunkt der Schmerzlinderung heran, je näher die Mama

kommt, bis zuletzt der Schmerz wirklich gestillt wird. In der Associationszelle, die die Mutter als Helferin in aller Not dem Kind repräsentiert, kommt auch dieser Bewegungsvorgang zur Geltung, durch Abzweigung entsprechender Fibrillen nach den optischen Nerven hin. Die wirkliche Annäherung der Mama, also die zeitlich aufeinander folgenden Erregungen von optischen Nervenfasern in derjenigen Reihenfolge, die einer fortwährenden Vergrösserung des Bildes der Mama zugehört, setzen von da an schon die hier in Betracht kommende Associationszelle in Thätigkeit. Jene Annäherung der Mama ruft daher im Kind die Erinnerung hervor an die Umwandlung des Schmerzgefühls in ein Lustgefühl.

Solche Erinnerungen werden am Kind auch äusserlich sichtbar; es lächelt, wenn es die Mama herankommen sieht. Wenn nämlich das Kind Schmerz fühlt, schreit es, und die Bewegungsmuskeln des Mundes und der Nase, bz. des ganzen Gesichts entstellen dabei dieses in einer Weise, dass schon beim blossen Anblick eines solchen Gesichts in fremden Personen ein Gefühl des Missfallens entsteht. Je geringer das Schmerzgefühl des Kindes ist, um so weniger ist sein Gesicht entstellt. Ohne jede schmerzhafte oder Unlustempfindung ist sein Gesicht normal, indifferent. Wird aber ein Schmerz plötzlich gehoben, so dass ein Lustgefühl ihm folgt, so treten andere Gesichtsmuskeln in Funktion, deren Wirkungen auf die Gesichtsformen die Helferin als äusseres Zeichen des Lustgefühls auffassen gelernt hat. Sie muss von nun an nicht mehr helfen. Ihr weiteres Eingreifen könnte sogar schädlich sein und neue anderweitige Schmerzen verursachen. Die Lachmuskeln und die Weinmuskeln halten sich im normalen indifferenten Zustand des Kindes gewissermassen das Gleichgewicht, und dieses Gleichgewicht bedingt eben die indifferente Gesichtsform. Ist die eine Art solcher Muskeln durch ihre zugehörigen Nerven stärker erregt, als die andere, so verschiebt sich das Gleichgewicht nach der entsprechenden Seite hin.

Bei jedem Schmerzgefühl des Kindes kommt eine Verschiebung seiner Gesichtsteile nach der Richtung des schmerzlich verzogenen Gesichts hin zu stande, bei jedem Lustgefühl wird der Gesichtsausdruck der zum Lächeln hinneigende. Das Kind lächelt also, wenn ein Schmerz rasch gehoben, wenn er in Lust

umgewandelt wird. Zwar ist ein wirklich als solcher bestehender starker Schmerz nicht immer so rasch beseitigt, dass eine Umwandlung dieses Schmerzgefühls in ein Lustgefühl stattfinden könnte, dass es also zum Lächeln des Kindes kommen müsste. Viele schwächere Schmerzgefühle, wie zb. das durch die Hungerempfindung hervorgerufene, lassen sich aber rasch in Lustgefühle umwandeln. Das Lächeln des Kindes kann dann schon erfolgen gleich nach dem ersten Augenblick der Hungerstillung. Fühlt das Kind bei Abwesenheit seiner Mutter nur ganz geringe Schmerzen, die ein noch unausgesprochenes Verlangen nach der Mutter bewirken, so verschwindet dieses geringe Schmerzgefühl oft schon bei der blossen Annäherung der Mutter sofort; es verwandelt sich dasselbe in ein Lustgefühl. Das Kind lächelt, wenn seine Mutter sich ihm nähert.

Unterscheidung von Personen.

Nicht immer ist nur die Mutter in der Nähe des Kindes beschäftigt. Oft hilft ihm eine andere Person, wenn es diesen oder jenen Schmerz fühlt, bald der Vater, bald eine Tante, eine Schwester, ein Mädchen usf. Ist einmal die Mama dem Kind als Helferin in aller Not bleibend zur Erinnerung gelangt und hat das Kind andererseits die Erfahrung gemacht, dass da oder dort andere, der Mama mehr oder weniger ähnliche Gegenstände bz. Wesen gleichfalls helfend eingreifen können, so wird es, wenn auch die Mama fern ist, zuerst doch Mama rufen, sofern es irgend einen Schmerz empfindet. Denn durch seine bt. Associationszelle ist der Begriff der Schmerzlinderung mit dem Begriff des Wortes „Mama“ noch so fest verbunden, dass die Aussprache jenes Wortes an sich in des Kindes Erinnerung schon die Wegnahme des Schmerzgefühls zur Folge haben muss, wenn auch nur ein der Mama ähnlicher Gegenstand (Mensch) anwesend ist und jenes Wort hören kann. Durch Erziehung wird aber diese kindliche ungenaue Begriffsbildung berichtigt. Verschiedene Personennamen werden dem Kind so lange vorgesprochen, bis dasselbe zu richtiger Nachahmung der bt. Namen gebracht wird. Für einen gelungenen Versuch wird das Kind belohnt durch Verabreichung einer ihm besonders angenehmen Nahrung oder eines anderen Gegenstandes, der ihm besonders

begehrenswert erscheint. In dem Kind verwandelt sich dadurch ein Unlustgefühl, nämlich das Verlangen nach einem gesehenen und nicht erreichbaren Gegenstand, in das Lustgefühl des nunmehr erlangten Besitzes.

Ist die gewünschte Aussprache des bt. Wortes jedesmal belohnt worden, hat sich also jedesmal nach derselben im Kind ein Unlustgefühl in ein Lustgefühl verwandelt, so bemüht sich das Kind immer wieder, dieses Wort richtig auszusprechen. Denn auf diesem Weg wird ja jetzt am raschesten sein Unlustgefühl in ein Lustgefühl verwandelt. Es bildet sich daher in seinem nervösen Zentralorgan für dieses Wort eine Associationszelle aus. Zugleich wird aber der Gegenstand, den das Wort benennt, also der Vater, die Tante, die Schwester, das Mädchen usf. dem Kind gezeigt. Es müssen daher auch die entsprechenden optisch reizleitenden Nerven zur Bildung der Associationszelle beitragen. Diese muss ihre Telodendrien aussenden in das Netz optisch reizleitender Nervenfasern hinein.

Greift die bt. Person, etwa der Vater, in bestimmter bemerkbarer Weise in das Leben des Kindes ein, ist dieser zb. diejenige Person, die jedes Schreien des Kindes mit Schlägen beantwortet, so wirken noch tastreizleitende Nervenfasern der geschlagenen Körperstellen bei der Erzeugung der bt. Associationszelle mit. Diese sendet daher ausserdem ihre Telodendrien in das Gebiet der Tastnerven hinein. Entsteht für die Folge im Auge des Kindes das Bild des Vaters, oder wird auch nur die dem Kind beigebrachte Benennung des Vaters, wenn es schreit, ausgesprochen, so wird schon die den herannahenden und schlagenden Vater repräsentierende Associationszelle erregt. Das Kind erinnert sich somit, dass der Vater auf sein Schreien hin jedesmal sich genaht und geschlagen hat. Es erinnert sich des auf das Schlagen folgenden Schmerzgefühls. Je kräftiger die bt. Associationszelle bereits ausgebildet ist, um so stärker kommt ein wirkliches Schmerzgefühl schon durch blosse Erregung derselben zu stande, ohne dass wirklich geschlagen wird. Daher hört das Kind auf zu schreien, namentlich wenn sein gegenwärtiges Schmerzgefühl nur ein eingebildetes, nicht ein wirkliches ist. Je sicherer und konsequenter der Vater auf das Schreien des Kindes diesem Schläge austeilt, um so rascher und wirksamer entwickelt sich aus dem nervösen Zentralorgan des

Kindes diejenige Associationszelle, die den Vater in seinen schlagenden Funktionen darstellt. Um so sicherer wirkt diese Associationszelle, wenn das Bild des Vaters im kindlichen Gesichtskreis auftaucht, daraufhin, dass die schmerzhaften Empfindungen seiner bt. Tastzellen dem Kind in Erinnerung gerufen werden. Um so sicherer wird auch das Schreien eingestellt, wenn es nicht eine notwendige Folge wirklicher Schmerzen ist. Aber sogar wirkliche schmerzhafte Empfindungen und namentlich die nur unangenehmen Empfindungen lernt das Kind bald überwinden, wenn es sich genügend erinnert, dass seinem Schreien unabänderlich ein stärkeres Schmerzgefühl auf dem Fusse folgt, vermöge des Geschlagenwerdens.

Durch Erziehung werden dem Kind andere Namen in ganz analoger Weise beigebracht, Namen der verschiedenen Personen, welche öfters in seiner Umgebung weilen, und von welchen die eine diese, die andere jene Funktionen ausübt. Anfänglich wird die für die Mama entstandene, dieselbe repräsentierende Associationszelle durch die Erscheinung jeder anderen Person auch erregt, wegen der Aehnlichkeit der Menschen untereinander (vgl. S. 39). Nach und nach entsteht aber für jede von jenen genannten Personen im Kind eine besondere Associationszelle. Diese Zelle verbindet durch die zahlreichen Fibrillen ihrer Telodendrien diejenigen optischen Nerven, welche das scharfe Bild, und diejenigen akustischen Nerven, welche die Benennung der bt. Person dem Kind zur Empfindung bringen, mit den bestimmten motorischen Nerven, welche für das Aussprechen des Namens der Person in Thätigkeit treten, und mit den oft weit verzweigten Nerven, welche die sonstigen Beziehungen dieser Person zum Kind vermitteln. Die letzteren Nerven verteilen sich unter Umständen über das ganze empfindende Nervensystem; denn eine Person kann nicht nur durch ihr gesehenes Bild, durch ihren gehörten Namen, sondern auch durch die von ihr ausgehenden Geräusche, durch den von ihr verbreiteten Geruch auf das Kind einwirken. Sie kann seine Geschmacksnerven durch Verabreichung von Speisen, seine Tastnerven bei entsprechenden Berührungen reizen. Gehen wir weiter auf unsere früheren Entwicklungen zurück, so erinnern wir uns, dass der Name der Person bei der folgenden Erziehung durch die Schule auch in seinem optischen Bilde, in der Schrift dem Kind vor-

geführt wird, dass es diesen Namen zuerst lesen, dann schreiben lernt. Nach allen sensiblen und motorischen Nervenzellen, die in solcher Weise mit der bt. Person in Beziehung gebracht worden sind, muss die für diese Person entstandene Associationszelle ihre Fibrillen aussenden bz. sie muss, unmittelbar oder mittelbar durch andere Associationszellen hindurch, solche Fibrillen von ihnen abgeschnürt haben. Sind die Beziehungen einer Associationszelle zu allen jenen Nervenzellen zu vielseitige, so entstehen statt einer zwei oder mehr Associationszellen. Wir werden uns später noch einigermassen Rechenschaft über die Anzahl solcher Associationszellen zu geben suchen, die zb. für eine und dieselbe wichtige Person entstanden sein müssen.

Unterscheidung von Sachen, von Handlungen.

Nicht nur Personennamen, sondern auch Namen von Sachen muss das Kind kennen und aussprechen lernen. Die Mutter zeigt ihm den Gegenstand, zuerst namentlich einen solchen, dessen Erlangung im Kind ein Lustgefühl erweckt, giebt ihm denselben aber erst, wenn der Name des Gegenstandes nachzusprechen versucht und wenn er schliesslich richtig nachgesprochen wird. Im Kind verbinden sich das gesehene Bild und der gehörte Name des Gegenstandes mit der von ihm zu stande gebrachten Aussprache seines Namens, wie oben gezeigt wurde, vermittelst einer besonderen Associationszelle, die die entsprechenden Nerven in Beziehung zu einander setzt. Aber nicht nur Gegenstände, sondern auch Handlungen zu benennen wird das Kind gelehrt, immer mit der selbstverständlichen Belohnung, wenn das richtige Benennen und das wirkliche Erkennen des Gegenstandes oder der Handlung gelingt. Die Belohnung ist dabei ursprünglich eine rein materielle. Sie besteht hauptsächlich in der Darreichung von Nahrungsmitteln, von Spielsachen usf., die sehr begehrt werden. Später genügt oft schon die idealere Belohnung durch Liebkosen.

Durch öftere Wiederholung des Nachsprechens, durch Uebung im Nachsprechen vorgesprochener Worte bildet sich übrigens bald für jeden einzelnen Laut eine besondere Associationszelle aus, welche von den akustischen Nerven, die bei dem gehörten Laut erregt werden, zu derjenigen motorischen Nervenkom-

bination hinführt, die die richtige Aussprache desselben Lautes bewirkt. Wenn dies aber einmal geschehen ist, wird jenes Nachsprechen vorgesprochener Worte ein verhältnismässig viel leichteres.

In der Zeit des ersten jugendlichen Lernens bilden sich besondere Associationszellen aus für alle Thätigkeiten, welche das Kind selber ausüben kann, oder welche es die Personen seiner Umgebung ausüben sieht, also für Trinken, Essen, Geben, Erhalten, Nehmen, Kommen, Gehen usf., ferner für Sein, Haben, Werden, auch für zahlreiche Eigenschaften. Jedem von diesen in die Erfahrung, in das Gedächtnis aufgenommenen Begriffen entspricht eine besondere Associationszelle in seinem nervösen Zentralorgan. Je mehr für die Folge das Kind sprechen und die Sprache verstehen lernt, um so mehr lernt es von selber Neues kennen, ohne durch seine Umgebung absichtlich darauf aufmerksam gemacht und von ihr gelehrt worden zu sein. Es erkennt aus der Unterhaltung und aus den Handlungen anderer Personen, sowie aus den Vorgängen, von denen gesprochen wird, die Bedeutung der gesprochenen Worte, nimmt dadurch neue Begriffe in sich auf und überrascht dann oft seine Angehörigen durch seine Erkenntnis von Dingen, die es anscheinend niemals gelehrt worden ist.

Nun ist es offenbar, in welcher Weise verschiedene Associationszellen mit einem und demselben Gegenstand in Verbindung stehen müssen. Dem Kind prägt sich zb. die Erinnerung ein an den herannahenden und schlagenden Vater. Soviel, als dasselbe im gleichen kleinsten Zeitteilchen sich vorzustellen vermag, wird jeweilen durch eine einzige Associationszelle repräsentierbar sein und bei genügend häufigem Eintreten des bt. Vorgangs wirklich durch dieselbe repräsentiert werden. Denn jede Erregung der Associationszelle ruft die Erinnerung an diesen Vorgang zurück und führt daher zur Vorstellung des Vorgangs. Eine besondere Associationszelle wird somit das optische Bild des Vaters und die Benennung, die Bezeichnungsweise des Vaters miteinander verbinden, dieselben jederzeit in der Erinnerung mehr oder weniger reproduzieren können. Eine andere Associationszelle hat sich im Kind entwickelt für die Thätigkeit des Herannahens, dadurch dass ein solches Herannahen verschiedener Personen oder anderer Gegenstände für das Kind ein besonderes

Interesse hatte. Wenn es für das Kind von besonderer Bedeutung ist, dass der Vater herannaht, so wird sich nach öfterer Wiederholung dieses Vorgangs eine neue Associationszelle von den beiden eben genannten Associationszellen des Herannahens und des Vaters abgeschnürt haben, und diese neue Zelle bringt, wenn sie erregt wird, dem Kind jederzeit das Herannahen des Vaters in Erinnerung, sie hält diesen Vorgang in der Erfahrung fest. Eine besondere Associationszelle ist im Kind gebildet worden für die Thätigkeit des Schlagens. Folgt auf das Herannahen des Vaters öfters das Schlagen desselben, so schnürt sich in früher beschriebener Weise von der Associationszelle, welche für das Herannahen des Vaters bereits gebildet ist, und von derjenigen, welche das Schlagen repräsentiert, zusammen eine neue Associationszelle ab, und diese bringt, wenn sie neu erregt wird, im Kind schon eine gewisse Empfindung des Geschlagenseins durch den herangenahten Vater hervor, bevor es überhaupt wieder geschlagen worden ist. Wird also der Vater auch nur sichtbar oder wird er sogar nur genannt, so wird doch die zuletzt erwähnte Associationszelle schon mit erregt, vermöge ihrer noch bestehenden nervösen Verbindungen mit den anderen Associationszellen, von denen sie sich abgeschnürt hat. Das Kind behält dementsprechend den ganzen Vorgang in Erinnerung. Es weiss, dass dem Herannahen des Vaters das Schlagen desselben folgt.

Bildung von Abstraktionen.

Indessen kommen dem Vater nach seinem Herannahen noch andere Funktionen zu, die ihn mit seinem Kind in unmittelbare Beziehung bringen, nicht nur das Schlagen. Der Vater kann das Kind an sich nehmen, um es zu liebkosen, er kann es belohnen, wie etwa die Mutter. Das Kind muss einen wesentlichen Unterschied in den Thätigkeiten seines konsequenten Vaters bezüglich seiner eigenen Handlungen wahrnehmen. Gewisse Handlungen des Kindes ziehen nämlich das Schlagen des Vaters, andere Handlungen das Liebkosen des Vaters nach sich; für beide Thätigkeiten des Vaters, ebenso für alle Handlungen des Kindes sind nach öfterem Geschehen derselben besondere Associationszellen im Kind ausgebildet worden. Folgt auf eine

gewisse Handlung des Kindes, zb. auf sein Schreien, unabänderlich das Schlagen des Vaters, so wird aus seinen beiden entsprechenden Associationszellen, aus derjenigen für sein Schreien und aus derjenigen für das Schlagen des Vaters, eine neue Associationszelle sich abschnüren, die sie beide in zeitlicher Folge (S. 71) miteinander verbindet. Das Kind behält dadurch einen Zusammenhang zwischen den beiden Handlungen seiner selbst einerseits und des Vaters andererseits im Gedächtnis. Es behält die entsprechende Aufeinanderfolge der beiden Handlungen in Erinnerung.

In analoger Weise entstehen im Kind andere Associationszellen, die andere Handlungen seiner selbst mit anderen Handlungen seines Vaters in bestimmten Zusammenhang bringen. Viele verschiedene Handlungen des Kindes haben stets sein Geschlagenwerden zur Folge, andere Handlungen desselben werden umgekehrt jedesmal mit Liebkosungen beantwortet. Das Kind lernt also unterscheiden zwischen Handlungen seinerseits, die vom Vater geduldet, und anderen Handlungen, die von ihm nicht geduldet werden. Wenn auch nicht jederzeit jede von seinen Handlungen entweder mit Liebkosungen oder mit Schlägen beantwortet wird, so muss es doch durch Vergleichung seiner verschiedenen Handlungen miteinander bald zur Erkenntnis gelangen, dass eine grosse Reihe seiner möglichen Handlungen vom Vater geduldet, eine andere Reihe derselben von ihm nicht geduldet wird. Zur Befestigung dieser Erkenntnis muss aber jedesmal bei offenkundiger Ausübung einer solchen nicht geduldeten Handlung oder schon beim Versuch, eine solche Handlung auszuführen, etwa von der Mutter das Bild des herannahenden und schlagenden Vaters dem Kind in Erinnerung gerufen werden. Es wird dadurch dem Kind immer klarer, dass gewisse von seinen Handlungen erlaubt, andere nicht erlaubt sind. Beantwortet auch die Mutter selber die unerlaubten kindlichen Handlungen mit Schlägen und erfährt das Kind konsequenterweise dieselbe Behandlung noch von anderen Personen, so nimmt es das Unerlaubte gewisser Handlungsweisen nur um so schneller wahr.

Während der Erziehung werden nun alle diese notwendig aufeinander folgenden kindlichen und elterlichen Handlungen fortwährend ins Gedächtnis zurückgerufen, nebeneinander ge-

stellt, miteinander verglichen, die bestimmte Aufeinanderfolge der kindlichen und elterlichen Handlungen auf eine tiefere Ursache zurückgeführt. Das Geschlagenwerden des Kindes als Folge aller möglichen unerlaubten Handlungen desselben wird als die Strafe für die Ausführung solcher Handlungen bezeichnet. Für den Begriff der Strafe bildet sich im kindlichen nervösen Zentralorgan eine besondere Associationszelle aus. Diese steht einerseits mit allen Associationszellen für jene unerlaubten Handlungen, andererseits mit allen Associationszellen für die schlagenden Personen in Verbindung, und zwar jeweilen durch besondere neugebildete Associationszellen, oder doch durch Associationsfasern bz. durch entsprechende nervöse Fibrillen. Ebenso bildet sich im Kind eine besondere Associationszelle aus für den Begriff des Gegenteils der Strafe, für die Belohnung. In analoger Weise entstehen andere Associationszellen für andere rein abstrakte Begriffe, zb. für Recht und Unrecht, für Ja und Nein, für Gehorsam und Ungehorsam, für Liebe und Hass, für Freude und Leid.

Bildung von Sammelnamen.

Wir haben an anderer Stelle schon erwähnt, dass im Kind sehr früh gewisse Unterschiedsempfindungen zur Geltung kommen (S. 39). Unterschiedswahrnehmungen macht das Kind bald bei allen ihm beigebrachten Begriffen. In seiner Umgebung befinden sich zb. Erwachsene und Kinder, welche beiden leicht voneinander unterschieden werden, schon wegen ihrer verschiedenen Grösse. In dem Bilde, das die ersteren im Auge des Kindes hervorrufen, bestehen aber auch unter diesen noch auffallende Unterschiede. Das Kind unterscheidet bald die Männer von den Frauen. Tauchen nun fremde Personen in seinem Gesichtskreis auf, so erkennt es anfänglich nur Unterschiede zwischen Männern, Frauen und Kindern.

Das Kind hat aber in verschiedenen Fällen, zuerst infolge der Betastung (S. 18), erfahren, dass zwei Gegenstände nebeneinander vorhanden sein können, die doch ganz gleich zu sein scheinen. Durch die Erziehung sind ihm sodann die Begriffe, Mann, Frau, Kind beigebracht worden, und es haben sich in seinem nervösen Zentralorgan besondere Associationszellen für

diese Begriffe ausgebildet. Jede Frau, die dem Kinde nun erscheint, erregt in ihm die Associationszelle des Begriffes „Frau". Auch die Mutter erscheint dem Kinde als Frau. Die Associationszelle „Frau" hat sich entweder bei ihrer Bildung teilweise von der schon früher entstandenen Associationszelle „Mutter" abgeschnürt, wenn bei der Feststellung des Begriffes „Frau" die Mutter dem Kind auch als Frau bezeichnet wurde, oder es hängen diese beiden Associationszellen doch in verschiedener Weise unmittelbar durch nervöse Fibrillen miteinander zusammen. Ganz sicher muss nämlich beispielsweise ein solcher Zusammenhang schon zu stande gekommen sein vermittelst derjenigen Fibrillen beider Associationszellen, die in den optischen Nerven sich aufsplittern; denn in optischer Beziehung erzeugt die Mutter und die Frau — wenigstens solange das Bild noch ein undeutliches ist — ganz dasselbe Bild. In den ersten Lebenstagen des Kindes werden ja für dasselbe überhaupt die verschiedenen Menschen dem Gesichtseindruck nach nicht voneinander sich unterscheiden, geschweige denn die Mutter und die Frau; sie alle werden zuerst durch eine einzige Associationszelle repräsentiert. Das Deutlichsehen macht aber mehr oder weniger rasche Fortschritte. Trotzdem ist das Kind und ist sogar der Erwachsene nicht im stande, den Unterschied zwischen der Mutter und der Frau dem im Auge erzeugten Bild nach festzustellen, solange die bt. Bilder wegen übergrosser Entfernung der Personen oder aus irgend welchen anderen Gründen noch zu undeutlich sind. Das Kind erkennt also, der grösseren Allgemeinheit des Begriffes „Frau" entsprechend, zuerst nur die Frau, nachdem einmal diese Associationszelle ausgebildet ist. Von letzterer aus übertragen aber nervöse Fibrillen die Reizung auf die Associationszelle „Mutter". Solches ist der Fall, wenn einmal die Mutter in ihrer Eigenschaft als Frau vom Kind besonders in die Erinnerung aufgenommen worden ist. Ganz ähnlich verhält es sich mit dem Associationszellenpaar Vater und Mann, mit den Associationszellen der einzelnen Geschwister und der Associationszelle Kind überhaupt.

Weil das Kind bei seiner Erlernung neuer Begriffe durch Erziehung daran gewöhnt wird, gewisse Sammelnamen, wie Mann, Frau, Kind, allgemein auf alle diejenigen Gegenstände anzuwenden, die in ihrem Aeusseren entsprechende Aehnlich-

keiten zeigen, so wird es dabei im Vergleichen fortwährend geübt. Es lernt kleinere Abweichungen als unwesentlich übergehen. Denn von einer grösseren Zahl von Frauen, die doch merkliche Unterschiede in ihrem Aeusseren erkennen lassen, wird dem Kind doch jede immer wieder als Frau bezeichnet. In gleicher Weise lernt es die Sammelnamen Mann und Kind kennen und anwenden. Jede von diesen Personen hat einen Kopf, einen Rumpf, zwei Hände, zwei Füsse. Nur die verschiedenen Bilder, die in der Regel die Köpfe darbieten, und insbesondere die verschiedenen Kleidungen unterscheiden für das beobachtende Kind den Mann von der Frau, die geringere Grösse der Kinder im Vergleich zu den Erwachsenen bringt ihm den Begriff „Kind" zum besseren Verständnis. Andere Sammelnamen werden in analoger Weise vom Kind seinem Wissen einverleibt.

E. Bewusstsein.

Selbstbewusstsein.

Hat sich das Kind genügend an Vergleichungen gewöhnt, so vergleicht es seinen eigenen Rumpf, seine Arme und Hände, seine Beine und Füsse mit denen anderer Kinder (vgl. S. 79). Weil es sieht, dass seine Körperteile ganz ähnlich denen anderer Kinder sind, und weil es bei den Sammelnamen doch nur auf Uebereinstimmung einer Anzahl allgemeinerer Eigenschaften ankommt, so erkennt es sich selber als Kind. Für sein Ich bildet sich nun, wie für die Personen seiner Umgebung, eine besondere Associationszelle aus, die durch zahlreiche nervöse Fibrillen zusammenhängt mit der Associationszelle „Kind". Jene Associationszelle „Ich" besitzt Fibrillen nach den optischen, nach den akustischen, nach fast allen anderen sensibeln, sowie nach den motorischen Nerven hin. Wie keine andere Associationszelle hängt diejenige für das Ich durch zahlreiche nervöse Fibrillen mit dem gesamten sympathischen Nervensystem, mit den mannigfachsten Nervenfasern desselben zusammen. Weil indessen solcher Beziehungen des Ich zu den verschiedensten reizleitenden Zellen gar zu viele sind, ist es nicht eine einzige Associationszelle, die das Ich auf die Dauer repräsentieren kann, sondern es sind deren viele. Ein ganzes System verschiedener mitein-

ander verbundener Associationszellen ruft erst die gesamte bewusste Ichempfindung hervor, wenn es erregt ist und daher auf das sympathische Nervensystem einwirkt. Eine von diesen Associationszellen bringt namentlich das empfindende Ich, eine andere das handelnde Ich, wieder eine andere das vorstellende Ich zur Wahrnehmung, je nachdem dieselben mit den sensiblen bz. mit den motorischen oder mit den Associationszellen durch nervöse Fibrillen besonders innig verbunden sind. Jede von den letzteren Associationszellen kann sich infolge ihres sehr intensiven Arbeitens wieder in mehrere Associationszellen geteilt und differenziert haben. Beispielsweise wird je eine besondere Associationszelle das empfindende Ich bezüglich der Gesichts-, der Gehörs-, der Geruchsempfindungen usf. repräsentieren, ferner werden besondere Associationszellen da sein für das handelnde Ich bezüglich des Arbeitens, des Sprechens, des Essens usf., besondere Associationszellen für das vorstellende Ich bezüglich der Vorstellungen von sensiblen, von motorischen Vorgängen aller Art. Eine von den letzteren bringt im Ich selber, durch Reizung des sympathischen Nervensystems, die Vorstellung des Ich als Kind hervor, welches gestaltet ist wie andere Kinder, welches empfindet, handelt, sich vorstellt wie andere Kinder. Von nun an ist sich das Ich bewusst, ein Kind zu sein, wie andere Kinder sind. Das vollständige Selbstbewusstsein bildet sich aus.

Das System aller Associationszellen „Ich“ steht mit allen möglichen anderen Associationszellen in Verbindung, so auch mit denjenigen für Thätigkeiten wie Essen, Trinken, Schreien, Sprechen, Sehen, Hören, Fühlen usf. Durch diese Verbindungen kommt dem Ich zum Bewusstsein, ob eine andere Person oder ob das Ich selber isst, trinkt usf. In entsprechender Weise gewinnt das Selbstbewusstsein an Bedeutung. Zustände, Eigenschaften, Abstraktionen werden alle mehr und mehr mit dem Associationszellensystem des Ich in Beziehung gebracht. Für alle diese Beziehungen entstehen, wenn sie häufig genug benutzt werden, besondere Associationszellen, und je mehr deren entstehen, um so mehr entwickelt sich das Associationszellensystem des Ich selber.

Sympathisches Nervensystem und Bewusstseinsnervensystem.

Aus unseren bisherigen Betrachtungen lässt sich ersehen, dass im Lauf der Entwicklung des Menschen von seiner Geburt an aus dem ursprünglichen, in diesem Zeitpunkt mit auf die Welt gebrachten sympathischen Nervensystem überaus viele neue Nervenzellen sich abspalten, die für die Folge nicht mehr dem sympathischen Nervensystem angehören, sensible Nervenzellen, motorische Nervenzellen und Associationszellen. Diese neuen Nervenzellen können wir in ihrer Gesamtheit als ein zweites Nervensystem auffassen, das allerdings an unzähligen Stellen mit dem ersten, dem sympathischen Nervensystem, im Zusammenhang bleibt. Der Bedeutung des sympathischen Nervensystems entsprechend haben nun alle in diesem sich fortpflanzenden Reize, wenn sie eine gewisse Intensität nicht überschreiten, unbewusste Vorgänge im Gefolge, wie wir dies früher schon auseinandergesetzt haben, Vorgänge, die für die Korrelation der Zellen, der Organe untereinander absolut notwendig sind. Alle zu bewusster Wahrnehmung gelangenden Vorgänge müssen dagegen Reize hervorbringen, deren Leitungsbahnen wenigstens teilweise im zweiten Nervensystem liegen. Kommen zb. im sympathischen Nervensystem aus irgend einem Grunde stärkere Nervenerregungen vor, so wirken sie durch diejenigen nervösen Fibrillen, die die bt. Zellen mit benachbarten Zellen des zweiten Nervensystems verbinden, auf dieses letztere ein. Sie bringen dadurch ein gewisses Schmerzgefühl hervor, das aber vom Ich nicht streng lokalisiert werden kann, solange keine sensiblen Nerven des zweiten Nervensystems selber in Mitleidenschaft gezogen werden. Reizvorgänge dagegen, die in Nerven des zweiten Nervensystems sich abspielen, führen zu bewussten Wahrnehmungen, wenn ihre Intensität eine genügende ist, handle es sich nun um bewusste Empfindungen, um bewusste Handlungen, oder nur um bewusste Vorstellungen jener beiden Vorgänge.

Von derjenigen Reizschwelle an, bei der ein eben merklicher Vorgang zum Bewusstsein kommt, bis zu demjenigen Reizbetrag, der das vollkommenste Bewusstsein im Gefolge hat, giebt es alle möglichen Zwischenwerte mit entsprechend vielen Graden des Bewusstseins. Wir dürfen vermuten, dass das Be-

wusstsein eines Vorganges ein um so vollkommeneres ist, je höhere nervöse Zentren des ersten, des sympathischen Nervensystems es sind, zu denen die bt. Reize vom zweiten Nervensystem her übertragen werden, dass das Bewusstsein eines Vorganges ein um so geringeres ist, in je niedrigeren nervösen Zentren die Reize vom zweiten in das erste Nervensystem hineingeleitet werden. Demzufolge sind diejenigen Associationszellen, welche das Ich selber zum Bewusstsein bringen, welche das Selbstbewusstsein hervorbringen, die Associationszellen „Ich" mit den höchsten Zentren des sympathischen Nervensystems unmittelbar verbundene Zellen des zweiten Nervensystems. Es können somit Vorgänge geringerer Intensität allerdings unter Umständen nur in den niedrigeren Zentren übertragen werden, bei fast unmerklichem Bewusstsein. Aber solche Vorgänge, welche mit grosser Intensität zu stande kommen, welche starke Nervenreize im Gefolge haben, müssen ihre Wirkungen in den Associationszellen „Ich" selber und in den obersten Zentralleitungszellen des sympathischen Nervensystems verspüren lassen, und kommen daher zu vollkommenstem Bewusstsein. Das zweite erst nach der Geburt entstandene Nervensystem nennen wir wegen seiner Beziehungen zum Bewusstsein für die Folge das Bewusstseinsnervensystem, zum Unterschied vom ursprünglichen ersten, vom sympathischen Nervensystem.

Beziehungen zwischen beiden Nervensystemen.

Nur wenige Begriffe, für die sich Associationszellen bilden, haben wir beispielshalber hier erwähnt, aber ungemein viele Associationszellen müssen während der geistigen Ausbildung des Kindes in seinem nervösen Zentralorgan, namentlich in seinem Gehirn wirklich entstehen. Denn immer und immer wieder tauchen neue Begriffe auf, die vom Kind bei seiner Entwicklung aufgenommen werden, und sogar bis ins hohe Alter hinein sind noch Erweiterungen in der Begriffsbildung nötig, so dass neue Associationszellen erzeugt werden müssen. Ein grosser Teil der vielleicht die Zahl einer Milliarde erreichenden Zellen des menschlichen Nervensystems wird also aus solchen Associationszellen bestehen. Es kämpfen aber, wie alle anderen Zellen, so auch die nervösen Zellen miteinander um ihre Nah-

rung, und diejenigen unter ihnen, welche von Anfang an zu schwach ausgebildet waren, und diejenigen, welche gar nichts mehr zu arbeiten haben, welche nicht mehr gebraucht werden, assimilieren nicht mehr. Namentlich werden viele Zellen des sympathischen Nervensystems, die während der embryonalen Entwicklung reichlich zu funktionieren hatten, nach der Geburt überflüssig. Sie zerfallen daher allmählich, werden von benachbarten assimilierenden Zellen nach und nach resorbiert, gleichsam aufgezehrt, so dass sie schliesslich völlig verschwinden. Aus diesem Grunde nimmt die Gesamtzahl aller unserer Nerven von der Geburt an weniger stark zu, als es ohne Umwandlung dieser schon vorhandenen sympathischen Nervenzellen notwendig wäre.

Zahlreiche Associationszellen, die sich in der frühesten Jugend gebildet haben mussten, sind im reiferen Alter, wie es scheint, spurlos verschwunden. Im Verlauf der Erweiterung der Anschauungen und des Verständnisses des Kindes haben sich solche Zellen geteilt und weiter differenziert, die ursprünglichen Mutterzellen sind dadurch umgewandelt worden. Associationszellen dagegen, die erst in späteren Jahren bei reiferem Verständnis entstanden sind, bleiben länger bestehen, sie sind dauerhafter. Dementsprechend bleiben auch die Erinnerungen aus der frühesten Jugend viel spärlicher erhalten, als diejenigen aus der späteren Lebenszeit.

Es ist wohl selbstverständlich, dass die Neubildung nervöser Zellen durch Abspaltung vom sympathischen Nervensystem keineswegs in derjenigen Reihenfolge eintreten wird, die wir hier bei der Behandlung solcher Neubildungen der grösseren Uebersichtlichkeit halber eingehalten haben. Vielmehr entstehen sensible Nervenzellen, motorische Nervenzellen und Associationszellen des Bewusstseinsnervensystems fast gleichzeitig. Zugleich zerfallen andere nervöse Zellen, welche von Anfang an nicht kräftig entwickelt wurden, und welche infolge dessen bei längerem Unbenutztbleiben um so leichter wieder resorbiert werden. Aus dem ursprünglich bei der Geburt schon vorhandenen sympathischen Nervensystem entsteht in solcher Weise noch das neue, das von jenem verschiedene Bewusstseinsnervensystem. Beide Systeme hängen aber an unzähligen Punkten durch nervöse Fibrillen miteinander zusammen, überall dort nämlich, wo eine Zelle des zweiten, des Bewusstseinsnervensystems von Zellen des

ersten, des sympathischen Nervensystems sich abgeschnürt hat. Diese Fibrillen sind um so zahlreicher und um so kräftiger ausgebildet, je öfter sie benutzt werden, je mehr sie zu arbeiten haben, weil sie in diesem Falle assimilieren, sich verstärken, sich teilen; sie sind um so mehr rückgebildet, je weniger sie nach der bt. Zellteilung noch zu leisten haben, und zuletzt, wenn ihre Leistungen bis unter ein gewisses Mass zurückgehen, zerfallen sie ganz.

Bedeutung beider Nervensysteme.

Die beiden genannten Nervensysteme haben ganz verschiedene Bedeutung für den Menschen. Das sympathische Nervensystem repräsentiert das Ich ohne jegliches Bewusstsein. Es setzt alle Organe, alle Zellen des Ich von einem höchsten Hauptzentrum und von vielen niedrigeren Nebenzentren aus in richtige Beziehungen zu einander. Es erhält alle Teile des Organismus in Korrelation zu einander. Dieses Ich arbeitet bei Tag und bei Nacht ohne Unterlass, ob der Mensch schlafe oder wache. Ein völlig gesunder Mensch spürt von seinem sympathischen Nervensystem nichts, obwohl es für ihn das unentbehrlichere ist, dasjenige, welches die Fortdauer seines Lebens vollständig beherrscht. Nur bei stärkeren Störungen in diesen oder in jenen Organen wird das sympathische Nervensystem selber so stark gereizt, dass es durch die verbindenden nervösen Fibrillen auf das andere, auf das nach der Geburt des Kindes neu entstandene Bewusstseinsnervensystem einwirkt, welches allein diejenigen Reize weiterleitet, deren wirkende Ursachen zum Bewusstsein kommen können.

Das Bewusstseinsnervensystem hat gleichfalls sein oberstes Hauptzentrum, es hat gleichfalls ein ganzes System von oberen nervösen Zentralleitungszellen, und diese sind es namentlich, die in ihrer Gesamtheit das bewusste Ich repräsentieren. Mit diesem gesamten Zentrum hängen alle diejenigen sensiblen Nerven unmittelbar zusammen, welche die bewussten Empfindungen auf das Ich übertragen, und alle diejenigen motorischen Nerven, durch welche das Ich eine bewusste Handlung ausführt. Sodann senden alle die einen und die anderen jener Nerven miteinander verbindenden Associationszellen mittelbar oder unmittelbar

nervöse Fibrillen nach jenen Zentralleitungszellen des bewussten Ich hin. Endlich sind alle diejenigen Associationszellen, die zur Aneinanderkettung von anderen, öfters mitcinander zusammenarbeitenden Associationszellen entstanden sind, also gewissermassen die Associationszellen höherer Ordnung, durch nervöse Fibrillcn mit den oberen Zentralleitungszellen des bewusstcn Ich verbunden. Daher hängen die sämtlichen Zellen des das bewusste Leben leitenden Zentralnervensystems einerscits miteinander und mit ihrem obersten nervösen Hauptzentrum des bewussten Ich, andererseits durch dieses, sowie durch zahlreiche nervöse Nebenfibrillen mit dem obersten nervösen Hauptzentrum des unbewussten Ich zusammcn.

F. Wille.

In demjenigen von diesen beiden Nervensystemen, in dem das Bewusstscin zu stande kommt, entwickelt sich auch der Wille. Nun ist cs aber nicht möglich, dass im menschlichen Gehirn spontan cin Wille entstehe. Nach unserer Theorie wenigstens ist jede Willensäusserung mit einem entsprechenden Energieverbrauch verbunden. Zu jeder ausgeführten Handlung war ein gewisser Energieaufwand nötig. Ja sogar jede gewollte, noch nicht einmal ausgeführte Handlung erfordert schon einen bestimmten Energieaufwand, weil zur Ermöglichung des Wollens gewisse nervöse Zellcn erregt sein müssen. Diese aufgewandte Energie kann nicht aus nichts cntstanden sein. Daher kann kein Vorgang des menschlichen Lebens, auch kein seelischer Vorgang spontan, aus nichts entstchen. Es sind vielmehr Reize aller Art fortwährend auf den Menschen wirksam, und entsprechende Reize werden in seinem nervösen Zentralorgan von Zellc zu Zelle geleitet. Am einen Ort verteilen sie sich, sie werden schwächer und schwächer, bis die Erregung der bt. Nervenzellen unter ihren Schwellenwert herabsinkt; am anderen Ort laufen sie zusammen, sie verstärken sich, erregen einzelne Nervenzellen besonders stark, und diese bringen daraufhin ihre spezifischen Funktionen hervor.

Damit also beispielsweise ein motorischer Nerv die von ihm einzuleitende Handlung bewirke, muss er entweder von einer einzelnen anderen Zelle, etwa von einer zugehörigen Associa-

tionszelle aus, entsprechend stark gereizt und daher erregt worden sein, oder es müssen verschiedene an ihn angelagerte Associationszellen gleichzeitig miteinander auf ihn einwirken, bis er den genügenden Grad der Erregung besitzt, um die bt. Handlung wirklich einzuleiten. Dabei müssen wir allerdings an das frühere Ergebnis erinnern, dass die zur Reizleitung notwendigen chemischen Umsetzungen in den Nervenzellen durch verhältnismässig schwache Reize ausgelöst werden können (S. 93). Denn vermöge der durch reichlichen Nahrungszufluss aufgespeicherten chemischen Energie in den reizleitenden Substanzen können schwache äussere Reize grössere Wirkungen nach sich ziehen, selbstverständlich unter Verlust einer entsprechenden, der Nahrung entnommenen Energiemenge. Wären keinerlei derartige äussere auslösende Reize da, so würde das von uns beschriebene, für die bewussten Vorgänge entstandene Nervensystem, das Bewusstseinsnervensystem, gar nicht merklich in die Lebensvorgänge eingreifen. Es würde ein solches Bewusstseinsnervensystem überhaupt niemals entstanden sein. Wir wollen hierauf etwas ausführlicher eingehen, indem wir an einem Beispiel die Vorgänge genauer verfolgen, wie sie sich etwa aneinander reihen. Wir beobachten zu diesem Zweck uns selbst, unser eigenes Ich.

Schlaf.

Es ist Abend. Draussen ist alles still geworden. Ich ziehe mich in mein Schlafzimmer zurück. Habe ich während des Tages tüchtig gearbeitet, so sind meine Nerven ermüdet. Denn durch Selektion im Kampf ums Dasein, durch Vererbung entsprechender, im Lauf der Zeit erworbener Eigenschaften sind in uns Menschen vermöge der Differenzierung solche Nervenzellen entstanden bz. bewahrt worden, die nicht beliebig viele Tage, in der Regel nicht einmal 24 Stunden nacheinander ohne Ausruhen zu arbeiten vermögen. Wir brauchen die Nachtruhe. Während der Nacht werden die ermüdeten Zellen wieder regeneriert. Während des Tags sind die regenerierten Zellen dafür um so leistungsfähiger. Die Ermüdung selber rührt her von inneren chemischen Umsetzungen in den Zellen (I, S. 157). Habe ich also während des Tags viele Empfindungen in mich aufgenommen, so sind meine sensiblen Nerven müde, sie reagieren

nur noch auf besonders kräftige Reize. Habe ich körperlich stark gearbeitet, so sind zuletzt nicht nur meine Muskeln und Sehnen, sondern auch meine bt. motorischen Nerven so sehr ermüdet, dass sie der Ruhe bedürfen. Wenn meine Tagesarbeit eine rein geistige, eine Denkthätigkeit war, so sind die bt. Associationszellen, die vorzugsweise zu funktionieren hatten, ermüdet, sie müssen ausruhen, um sich mit Hilfe des zugeführten Blutes wieder regenerieren zu können. In der Regel ist jede Arbeit, die wir ausführen, derart, dass sie teils sensible, teils motorische Zellen, teils aber auch Associationszellen in Anspruch nimmt. Bin ich also abends ermüdet, so bedürfen alle diese verschiedenen Arten von Nervenzellen der Ruhe. Im Ruhezustand des Menschen können alle seine Zellen wieder reichlich neue Nahrung aus dem Blut aufnehmen. Wahrscheinlich geschieht dies unter anderem in der Form von Reservestoffen, welche erst während des Funktionierens der Nerven in die gebrauchte Nervensubstanz umgewandelt, welche erst während der Tagesarbeit assimiliert werden.

Ziehe ich mich also in mein Schlafzimmer zurück, wenn es draussen still geworden ist, so werden meine akustisch reizaufnehmenden Nerven durch nichts mehr gereizt. Oder zum mindesten sinken doch äussere akustische Reize auf so tiefe Werte herab, dass sie den Schwellenwert des Reizes, wie er jenen akustischen Nerven entspricht, nicht mehr erreichen. Dieser Fall tritt sehr leicht ein, weil am Abend die akustischen Nerven ohnehin ermüdet sind, weil sie auf Reize viel weniger reagieren, weil also die Schwellenwerte ihrer Reize am Abend ohnehin höhere geworden sind. Ich höre demnach manche störenden Geräusche am Abend überhaupt nicht mehr. Nun lösche ich das Licht aus, mache das Schlafzimmer ganz dunkel. Optische Reize wirken dann auf meine Sehzellen nicht mehr ein. Ich ziehe mich aus und lege mich in das weiche Bett, in dem ich an keiner Körperstelle eine merklich störende Tastempfindung wahrnehme. Bald haben die meinem Körper anliegenden Teile des Bettes, die aus schlechten Wärmeleitern bestehen, annähernd meine Körpertemperatur angenommen und ich erhalte das Gefühl behaglicher, gleichmässiger Wärme rings um mich, so dass auch keine störenden Wärmereize mehr auf meine wärmereizaufnehmenden Körperzellen einwirken. Ferner esse und trinke ich nicht,

während ich zum Schlafen mich anschicke; also ist der Geschmacksinn nicht in Thätigkeit. Ich sorge dafür, dass keine kräftig riechenden Substanzen im Schlafzimmer sich befinden, die auf meine Geruchsnerven störende Reize ausüben könnten. Auch alle anderen Reize halte ich in diesem Zeitpunkt möglichst von mir fern. So führe ich zb. keinerlei Bewegungen aus, um nicht durch solche wieder neue Empfindungsreize auszulösen. Bin ich dann gesund, so werden auch die nur mittelbar, nicht unmittelbar zur Aussenwelt in Beziehung stehenden Associationszellen meines nervösen Zentralorgans aus Mangel an Reizen, die auf dieselben einwirken, nur sehr schwach erregt sein. Daher befindet sich von nun an das ganze Bewusstseinsnervensystem, das für die bewussten Lebensvorgänge vom ursprünglichen sympathischen Nervensystem allmählich Zelle für Zelle sich abgeschnürt hat, in einem Zustand sehr geringer Erregung. Bewusst oder unbewusst schliesse ich noch die Augen. Keine äusseren Reize irgendwelcher Art sind nunmehr, nach den beschriebenen Vorkehrungen, noch so intensiv, dass die Schwellenwerte der Reize für die sensiblen Nerven durch dieselben überschritten würden. Damit gerät mein ganzes Bewusstseinsnervensystem in einen Ruhezustand, weil fernerhin keine Energie zu Nervenerregungen von aussen zugeführt wird. Ich sinke also in Schlaf.

Während des Schlafes arbeitet aber das sympathische Nervensystem fort und fort; denn es steht nur mittelbar, durch das Bewusstseinsnervensystem hindurch, zur Aussenwelt in Beziehung. Nicht nur die Nervenzellen, sondern auch viele andere Körperzellen, stützende, transportierende, verdauende, sezernierende, kontraktile Zellen usf. haben ihre Perioden der Arbeit und der Ruhe. Sind sie während des Tags stark in Anspruch genommen worden, so versehen sie sich während der Nacht wieder mit neuen Stoffen, mit Reservestoffen, aus den überall herbeifliessenden Nahrungssäften, aus dem Blute, unter der Oberleitung des sympathischen Nervensystems, das stets dafür sorgt, dass die irgendwie gestörte Korrelation der Teile untereinander wieder hergestellt wird. Es erhalten auch die während des Tags stark beanspruchten nervösen Zellen des Bewusstseinsnervensystems neue Stoffe, Reservestoffe. Sie nehmen dieselben aus dem herbeiströmenden Blut in sich auf, in demjenigen Masse, in dem das nunmehr regierende sympathische Nervensystem eine solche

Aufnahme gestattet. So lange erfolgt nämlich die Stoffaufnahme derselben, bis wiederum die richtige Korrelation dieser Nervenzellen zu den übrigen Körperzellen hergestellt ist. Die gleiche Bedingung der richtig wirkenden Korrelation aller Körperzellen untereinander ist massgebend für die Stoffaufnahme der Zellen des sympathischen Nervensystems selber; denn sie begegnete uns schon in den einfachen Zellen als notwendiges Erfordernis für ein gewisses Gleichgewicht verschiedener Zellsubstanzen untereinander (I, S. 175).

Träume.

Wenn ich schlafe, habe ich kein Bewusstsein meines persönlichen Ich mehr. Dennoch existieren alle diejenigen Zellen, die im wachen Zustand meiner selbst in mir das Bewusstsein entstehen lassen. Sie sind aber zu schwach erregt, um auf das sympathische Nervensystem diejenigen Reize übertragen zu können, die zu bewussten Wahrnehmungen führen.

Gehen nun während des Schlafs chemische Umwandlungen, Rückverwandlungen in den nervösen Zellen meines Gehirns vor sich, treten reichliche Nahrungsstoffe oder Reservestoffe in solche Zellen ein, die während des Tags so stark und anhaltend gereizt waren, dass sie dabei alle ihre Reservestoffe zur Assimilation aufbrauchen mussten, so kommt nun ein gewisser neuer Reiz in diesen Zellen zu stande, sogar während der Nacht. Infolge der reichlichen Nahrungsaufnahme regenerieren sich nämlich die ermüdeten Zellsubstanzen. Es kommen dabei die regenerierend wirkenden chemischen Verbindungen zu stande. Die Folge dieser chemischen Wirkungen muss aber eine gewisse Erregung der bt. nervösen Zelle sein.

Wird eine optisch reizaufnehmende oder eine optisch reizleitende Nervenzelle in solcher Weise erregt, so leitet sie einen entsprechenden Reiz während des Schlafs zu den Zentralleitungszellen desjenigen Nervensystems, das bei genügender Erregung seiner Zellen das Bewusstsein hervorbringt. Jetzt, während des Schlafs, ist eine solche Nervenerregung zu schwach. Mein Ich glaubt im Schlaf nur einen optischen Reiz zu empfinden, etwa denjenigen eines Lichtpunktes, ohne dabei so stark gereizt zu werden, dass zugleich das Bewusstsein zur Geltung käme.

Akustische oder irgendwelche andere sensible Nervenzellen, aber auch motorische Nervenzellen, sowie Associationszellen werden in analoger Weise durch Nahrungsaufnahme bz. durch Regeneration ihrer Substanzen während des Schlafs erregt, und das schlummernde Ich glaubt, zu empfinden, zu handeln, glaubt Vorstellungen zu haben, glaubt sogar eine Aufeinanderfolge verschiedener Vorgänge zu erkennen, ohne sich aber dessen wirklich bewusst zu sein. Das Ich träumt. Wird eine bestimmte Associationszelle stark erregt, zb. diejenige, welche den Plan, eine Reise zu unternehmen, in meinem Gehirn repräsentiert, so glaubt mein Ich, diesen Plan wirklich zu fassen. Denn früher habe ich in der That solche Pläne hie und da gefasst. Für die entsprechende Planfassung ist daher eine besondere Associationszelle entstanden, und ist es nun diese, welche im Schlaf merklich erregt wird, so glaubt mein träumendes Ich, solange eine solche Erregung andauert, den bt. Plan wirklich zu fassen.

Wir haben soeben die Voraussetzung gemacht, dass die genannte Associationszelle kräftig erregt werde. Ist dies wirklich der Fall, so muss diese Associationszelle andere mit ihr in inniger Verbindung stehende Zellen mehr oder weniger reizen und also gleichfalls in Erregung versetzen. Zunächst schliesst an die genannte Associationszelle etwa diejenige Associationszelle an, die für mein Ich den Vorgang repräsentiert, dass ich Hut, Reisegepäck usf. nehme, mich also für das Weggehen einrichte. Wird diese Associationszelle von jener aus gereizt und also erregt, so glaubt mein träumendes Ich, diese meine Ausrüstung für die Reise wirklich zu empfinden, wahrzunehmen. Eine weitere, unmittelbar anschliessende Associationszelle repräsentiert für das Ich den Vorgang des Hinausgehens aus dem Haus auf die Strasse, und das träumende Ich glaubt, wenn auch diese Associationszelle miterregt wird, es sei wirklich aus dem Haus und auf die Strasse gegangen. Eine nächste Associationszelle wird etwa noch erregt, nämlich diejenige für den Vorgang des Gehens auf der Strasse. Die eine Associationszelle hat die andere gereizt und erregt, von der ersten bis zur letztgenannten. Der ursprüngliche Reiz hat sich aber auch nach anderen Richtungen, nach anderen Zellen hin, wenn auch weniger merklich, ausgebreitet, und dadurch ist die gesamte, sich verteilende Reiz-

wirkung unter Umständen so schwach geworden, dass ihre weitere Fortleitung unterbleibt. Die Associationszellen der Vorgänge des Hinausgehens auf die Strasse und des Gehens auf dieser letzteren stehen aber beide mit denjenigen motorischen Nervenzellen in unmittelbarer Verbindung, die das wirkliche Gehen einleiten. Sie addieren sich also in ihren Wirkungen auf diese. Sind daher jene beiden Associationszellen noch intensiv genug gereizt worden, so bewege ich unbewusst meine Beine etwas während des Schlafes. Dadurch gelangt zufällig eines derselben oder ein Fuss an die kalte Luft. Ich strecke einen Fuss unter der Bettdecke hervor, oder ich habe durch unbewusste, wenn auch verhältnismässig geringe Bewegungen die Bettdecke doch in solche Unordnung gebracht, dass ein Fuss oder sogar ein grösserer Teil eines Beines entblösst wurde. Dadurch werden aber entsprechende Tastnerven von äusseren Reizen getroffen. Sind diese Reize, wenn ich im warmen Zimmer liege, nicht kräftig genug, so schlafe ich weiter. Mein Ich aber empfindet dieselben während es schläft. Mein träumendes Ich glaubt, es wandle zum Bahnhof, um abzureisen; plötzlich taucht die Kälteempfindung an einem Bein als neuer Reiz auf. Weil das Bewusstsein fehlt, kann der Kältereiz im Traum nicht genau lokalisiert werden. Das Ich hat also nur ein unbestimmtes Gefühl, als sei es nicht genügend bekleidet, und dennoch befinde es sich auf der Strasse. Den beiden Associationszellen, welche einerseits das Gehen auf der Strasse, andererseits das Gefühl mangelhafter Bekleidung repräsentieren, ist zugleich eine weitere Associationszelle, und dieser sind wieder andere Associationszellen angelagert, welche zb. der Reihe nach das Gefühl, etwas Unrechtes zu thun, bestraft zu werden, zur Empfindung des träumenden Ich bringen.

Die weiter geleitete Reizung bz. Erregung aneinander geketteter Associationszellen hat zur Folge, dass das Ich glaubt, eine bekannte Person herbeikommen zu sehen, vor der es in diesem Aufzug Scham empfindet. Der Gedanke an Flucht taucht auf, er wird scheinbar zur That. Wirklich werden die Beine, wenn die den Vorgang der Flucht repräsentierende Associationszelle stark genug erregt war, etwas bewegt; sie finden indessen schon bei den ersten Versuchen, bei den ersten Anfängen geringer Bewegungen grossen Widerstand in der Bett-

decke, die aber dabei dem Ich wegen ihrer Weichheit doch nicht als solche zur bewussten Empfindung gebracht wird. Es entsteht im träumenden Ich nur das Gefühl, beim Weglaufen furchtbar gehemmt zu sein. Näher kommt also jene mir bekannte Person. Grösser und grösser wird die Angst, von ihr erkannt zu werden. Schliesslich, wenn durch andauernde Reizung diejenige Associationszelle, die den Begriff repräsentiert, im nächsten Augenblick auf strafbarer Handlung ertappt zu werden, genügend erregt ist und einen genügend starken Reiz ausübt auf andere Zellen, wenn der Schwellenwert solcher Reize, wie er dem Bewusstsein entspricht, erreicht und überschritten wird (vgl. S. 92), so erwache ich. Mein Bewusstsein ist wieder da, und ich erkenne nun erst den wahren Sachverhalt. Ich fühle, dass ich mich im Bett befinde, dass ich von der Decke nicht mehr vollständig bedeckt werde. Meine bt. nervösen Zellen sind aber durch jene Reize unter Umständen so stark erregt worden, dass sie assimilierten, dass sich feinste Associationsfasern, etwa Fibrillen von molekularen Durchmessern für die Aneinanderkettung der bt. Vorgänge gebildet haben, und dass ich demzufolge der geträumten Hauptvorgänge auch nach dem Erwachen eine Zeitlang noch deutlich mich erinnere. Ich beruhige mich also, schlafe wieder ein und träume weiter.

Eine andere meiner Associationszellen war während der vergangenen Tage stark in Anspruch genommen, diejenige nämlich, die in meiner Erinnerung festhält, dass ich eingeladen wurde und nun in die Gesellschaft zu einem Essen gehen muss. Diese Zelle erhält somit während meines Schlafs reichlich neue Stoffe und wird dadurch kräftig gereizt und erregt. An sie schliessen sich kettenförmig andere Associationszellen an, welche, weil sie nun von jener aus in entsprechender Reihenfolge gereizt werden, die Vorgänge des Hutaufsetzens, des Ausdemhausegehens, des Wanderns auf der Strasse dem träumenden Ich zur Empfindung bringen. Beim Wandern gelangen in der Regel optische Bilder zur Wahrnehmung. Diejenige Associationszelle, welche soeben der Reihenfolge entsprechend erregt worden ist, und welche den Vorgang des Wanderns auf der Strasse repräsentiert, hängt demnach in vielfacher Weise mit optischen Nervenfasern zusammen. Es wird beispielsweise durch die Associationszelle „Wandern“ mittelbar eine solche Kombination optischer

Nervenfasern erregt, die seinerzeit den Eindruck eines sehr schönen, sehr wohlthuenden Bildes hervorgerufen hat. Denn durch diesen andauernden Eindruck ist damals eine entsprechende, an die Associationszelle „Wandern" gekettete besondere Associationszelle für jenes Bild entstanden. Letztere Zelle möge etwa während des Wanderns oder als Abschluss der Wanderung das Bild einer herrlichen Landschaft zur Empfindung bringen, die ich von einem hohen Turm aus besichtige. Das Ich empfindet auch die Höhe des Turms, auf dem es sich befindet. Denn das Aufsteigen bis zur Höhe desselben hat seiner Zeit viel Anstrengung verursacht, und deshalb hat sich für dieses mühsame Steigen damals auch eine besondere Associationszelle ausgebildet, welche die dafür notwendig gewesene Anstrengung noch in meiner Erinnerung festhält.

Während nun diejenige Associationszelle, die die Aussicht von der Höhe des Turms repräsentiert, gereizt wurde, hat die auf sie einwirkende, zuvor erwähnte Associationszelle für das Wandern zur Gesellschaft gleichfalls weiter gearbeitet bz. weiter gereizt. Das Ich glaubt, zur Zeit seiner Vorstellung des Steigens auf den Turm wirklich gestiegen zu sein, nämlich zugleich in die erwarteten Gesellschaftsräume. Richtig sieht nun das auf der Höhe des Turms sich wähnende Ich einen grossen, glänzenden, mit Lichtern hell erleuchteten Gesellschaftssaal vor sich. An der Tafel sitzen die verschiedensten Personen in bunter Reihe durcheinander. Mein Ich sieht einen jovialen Fürsten, dem ich mich kürzlich vorzustellen hatte, in leutseliger Weise mit einem Dienstmann sprechend, der seinen Karren noch hinter sich stehen hat, in welchem er jüngst mein Gepäck zur Bahn beförderte. Am Fenster sitzt ein typischer Engländer, der nach Fischen angelt; ich sah ihn vorgestern auf einer Wanderung. Andere Engländer spielen Lawn Tennis im Hintergrund des Saals; ich sehe sie fast jeden Tag bei meinem Spaziergang, und beobachte sie oft, weil ein mit ihnen spielender Deutscher, ein sehr gewandtes und gesprächiges Männchen, mir wohl bekannt ist. An der Tafel sitzt auch noch ein guter Freund jenes Männchens, ein sehr ruhiger Gelehrter, der fast nichts spricht, nur hie und da mit den Achseln und mit den Armen und Händen charakteristische, lediglich seinen nächsten Bekannten verständliche Bewegungen macht. Den schweigsamen

und den gesprächigen Freund sah ich oft beisammen. Durch die Associationszelle, die den einen Freund in meine Erinnerung zurückruft, wird daher die Associationszelle für den anderen Freund mit erregt. In analoger Weise hängen die vorher erwähnten Traumvorstellungen durch Associationszellen zusammen, so dass die Erregung der einen immer diejenige der anderen nach sich zieht. Es mögen beispielsweise hier die Associationszellen für die Begriffe: Fürst, leutselig, Dienstmann, Gepäck, Reise, Engländer, Lawn Tennis, Männchen, Freund, Gelehrter usf. miteinander so verkettet sein, dass jede vorher genannte die unmittelbar nachfolgende Associationszelle mit erregen musste, wenn sie selber erregt wurde. Noch andere gelehrte Herren mit ihren Damen sieht aber das Ich an jener Tafel sitzen, ausserdem viele unbestimmte verschwommene Gestalten, wie ja in Wirklichkeit alle übrigen Personen der Umgebung verschwommen erscheinen, wenn man eine einzige derselben fest ins Auge fasst.

Eine Frau sieht indessen mein Ich noch deutlicher sich abheben, ein altes Weib, dessen Züge allmählich erkennbar werden. In der That, es ist das hässliche Höckerweib, das an der Strassenecke nebenan Obst verkauft. Jüngst stiess ich, in Gedanken versunken, beim Umbiegen um die Strassenecke so heftig an eine Ecke ihres Tisches, dass das Obst beinahe heruntergefallen wäre und jedenfalls ganz in Unordnung kam. Das träumende Ich empfindet dieses Versehen seinerseits und fühlt sich gedrungen, bei dem Weib wegen desselben sich zu entschuldigen. Allein das Weib schimpft laut in Gegenwart der ganzen Tafelgesellschaft und schmäht mich in der ärgsten Weise, so dass das Ich ungemein beschämt wird. Glücklicherweise kommt aber eine Unterbrechung der Scene, und das Ich wird von diesem Weib erlöst. Die Associationszelle für das Wandern auf der Strasse ist nämlich noch nicht ganz zur Ruhe gekommen. Plötzlich sieht das Ich, meiner gestrigen Wanderung durch dieselbe Strasse zufolge, an der jenes Weib Obst verkauft, ein scheu gewordenes Pferd in sausendem Galopp heransprengen, geradeswegs auf unsere Tafel los. Im Traum erkennt das Ich nicht, wie das Pferd auf die Höhe des Turms heraufgekommen ist, ob es die paar hundert Stufen herauf gestiegen oder ob es durch das Turmfenster hereingelaufen ist. Aber das träumende

Ich sieht ganz deutlich das Pferd heranstürmen, wie ich es gestern auf der Strasse auch sah. Und richtig eilt auch schnell wie damals ein Offizier herbei, der wohl gleichfalls hier an unserer Tafel gesessen haben mag. Er stellt sich dem Pferd entgegen, bewegt seine Arme wie Windmühlenflügel in der Luft herum, bringt dadurch das Pferd zum Stehen. Aber gleich darauf macht dieses Kehrt und saust durch das Turmfenster, das sich für diesen Vorgang bis zur Strassenbreite erweitert hat, wieder davon.

Nach diesen aufregenden Bildern empfindet das träumende Ich begreiflicherweise, dass es in diesem Gesellschaftssaal doch ungemütlich sei. Mit dieser Vorstellung ist wieder die nächste verknüpft, die das Weggehen als wünschenswert erscheinen lässt. Das träumende Ich sieht sich am Fenster, es erkennt wieder die freie Lage des Turms, der hoch oben auf einem Berge steht. Schon oft hat es geglaubt, das Fliegen könne doch nicht unmöglich sein, jedenfalls sei es aber viel angenehmer, als das Herabsteigen vom Turm. Gedanke und That sind ihm im Traum eins. Das träumende Ich sieht sich zum Fenster hinausfliegen und nicht etwa nur sich langsam zu Boden sinken, nein, es sieht sich sogar im Fluge steigen. Denn in Anlehnung an die Schwimmbewegung, die auszuführen doch seit der Jugend für mich eine Kleinigkeit ist, macht das Ich ähnliche Bewegungen, nur mit dem Unterschied, dass es dabei etwas intensiver mit den breiten Handflächen nach abwärts drückt, auf die Luft, und in der That, das träumende Ich sieht, wie es langsam, aber sicher fliegend in die Höhe steigt. Es ist aber gar nicht einmal nötig, dass es auch die Beine zum Zwecke des Fliegens bewege. Schon die richtige Bewegung der Arme allein genügt, ganz ähnlich wie beim Schwimmen. Auch sind nach einiger Uebung die Schläge gegen die Luft verhältnismässig ganz sanfte. Meine Freude über das endlich gelöste Problem ist übergross. Indessen hat sich die Unmöglichkeit, in dieser Weise zu fliegen, bis dahin meinem Ich so sehr eingeprägt, dass dieses, obwohl im Traum, doch sich selber schlafend fürchtet, dass es selber eine Täuschung vermutet, wie schon so oft wegen desselben Problems. Aus Aufregung darüber, dass vielleicht das Geträumte dennoch wahr sein könnte und dass ich die richtigen Bewegungen wieder vergessen könnte, wache ich auf. Gleich

nach dem Erwachen ist mir der Vorgang noch ganz klar, die beim Fliegen ausgeführten Bewegungen und alles, was damit zusammenhängt; aber ich befinde mich nach wie vor im Bett. Ich versuche jene Flugbewegungen nicht zu wiederholen. Das Problem bleibt ungelöst.

Noch einmal kann ich schlafen; denn es ist Nacht und die Träume erfordern wenig Zeit, weil nur Erregungen von nervösen Zellen, keine wirklichen mehr Zeit beanspruchenden motorischen Vorgänge bei ihnen sich abspielen. Mein Ich sieht im Traum eine Ameise, mit welchen Tieren ich mich jüngst wieder beschäftigt habe. Bald sieht es viele Ameisen, eine ganze Ameisenstrasse, auf der die Ameisen geschäftig hin und her eilen. Es überlegt das träumende Ich oft ganz ähnlich wie das bewusste wachende Ich. Wie merkwürdig sind doch die Menschen, dass sie immer glauben, sie selber hätten nicht nur fast alles besser als alle anderen lebenden Wesen, sondern manches sogar ganz allein, sie seien die allein in jeder Beziehung bevorzugten Wesen! Warum sollten denn die Tiere nicht auch eine Sprache besitzen? Wir haben eben nicht das an die Laute einer Tierart gewöhnte Ohr, wir haben auch niemals dieselben Interessen wie die Tiere; deshalb können wir ihre Sprache nicht verstehen. Allerdings haben die Tiere ungemein viel weniger Bedürfnisse und daher auch weit weniger Interessen als die Menschen, und demnach wird ihre Sprache eine entsprechend einfachere sein. Allein irgend eine Sprache werden doch gar manche Tierarten haben, ohne dass wir es nur ahnen. Solche Reflexionen habe ich schon oft angestellt, und in dieses Sinnen ist mein Ich im Traum versunken bei Betrachtung der geschäftigen Ameisen. Wäre es nicht möglich, dass die Ameisen, etwa wie andere Insekten, mit diesem oder mit jenem Körperteil sehr schwache, feine Töne oder Geräusche hervorbrächten, die von den anderen Ameisen gehört würden? Müssten sich dann diese Töne oder Geräusche, den Bedürfnissen der Ameisen entsprechend und dem Kampf ums Dasein zufolge, nicht von selber so differenzieren, dass mehr oder weniger Laute entstünden, mit denen sich die Ameisen einander verständlich machen könnten? Mein träumendes Ich glaubt mit gespannter Aufmerksamkeit zu horchen. Es hat in der That die Empfindung von Geräuschen, von ganz feinen Tönen. Je mehr es seine Aufmerksamkeit auf die Ameisen

konzentriert, um so hörbarer werden die Töne. Es ist nicht die Sprache der Ameisen, die das träumende Ich vernimmt, sondern es ist eine ganze Musik derselben. Immer deutlicher und klarer wird diese Musik, die die Ameisen hervorbringen. Schliesslich wache ich auf, infolge einiger überaus starker Töne derselben, und ich komme zum Bewusstsein, dass ich nicht im Wald Ameisen beobachte, sondern im Bett liege, dass aber eben jetzt unmittelbar unter meinem Fenster eine Regimentsmusik mit klingendem Spiel vorbeizieht. Dieselbe ist zuvor näher und näher herangekommen, sie entfernt sich nun wieder in der entgegengesetzten Richtung. Mein träumendes Ich hat diese thatsächlich im Schlaf vernommene Musik mit den gleichzeitig vermeintlich beobachteten Ameisen kombiniert, es hat die Musik den Ameisen selber zugeschrieben.

Ursachen der Träume.

Für alle Vorgänge, Handlungen und dergleichen, die in Traumphantasien mein Ich beobachtet bz. ausführt, wie ich sie nur beispielsweise hier aufzählte, existieren in meinem nervösen Zentralorgan Associationszellen, die früher einmal bei entsprechenden, besonders bemerkenswert und deutlich oder öfters sich abspielenden Vorgängen sich gebildet hatten. Diese Associationszellen werden erregt teils durch Blutzufluss bz. durch Nahrungszufluss in ihr Inneres, welcher — vermöge der Korrelation der Zellsubstanzen untereinander — chemische Umwandlungen der durch die Tagesinanspruchnahme ermüdeten Substanzen, nämlich eine Regeneration dieser Substanzen, nach sich zieht (vgl. S. 139), teils durch Reize von einer mehr oder weniger benachbarten, in der genannten Weise stark erregten anderen Zelle aus.

Werden solche Reize weiter geleitet, von Associationszelle zu Associationszelle, so empfindet das schlafende Ich im Traum die entsprechende Reihe von aufeinanderfolgenden Vorgängen, die alle einmal vorgekommen sind, sich wirklich ereignet haben. Dabei können Personen und Sachen in eigentümlichster Weise und fast plötzlich miteinander abwechseln. Immer aber hat jeder von diesen Vorgängen bestimmte Anknüpfungspunkte an den unmittelbar vorhergehenden und an den unmittelbar nachfolgenden Vorgang.

Tritt dagegen in einem nervösen Organ des Schlafenden ein ganz neuer Reiz auf, etwa in der oben erwähnten Weise durch entsprechenden Nahrungszufluss, oder auch infolge einer von der Aussenwelt kommenden stärkeren Reizwirkung irgend welcher Art, die den Schlafenden zwar nicht weckt, aber doch einzelne seiner sensiblen Nerven bis zu wirklichen Empfindungen erregt, so wird auch dieser Reiz von einer nervösen Zelle zur anderen, von Associationszelle zu Associationszelle fortgepflanzt. Alle diese Zellen stehen mit höheren nervösen Zentralleitungszellen durch besondere Fibrillen in Verbindung. Daher gelangen sowohl jener zuerst erwähnte, als auch dieser letztere Reiz, welche beide eine Zeitlang von Associationszelle zu Associationszelle weiter geleitet werden, in jenen höheren Zentralleitungszellen im nervösen Hauptzentrum selber mehr oder weniger gleichzeitig zur Wirkung. Beide Reizwirkungen treffen dort irgendwo zusammen, und das träumende Ich glaubt, beide Vorgänge spielen sich gleichzeitig ab. So sieht das Ich im Traum die wunderbarsten und unglaublichsten Kombinationen von Vorgängen sich abwickeln. Solche Träume werden gewöhnlich als seltsame bezeichnet; in Wirklichkeit ergeben diese Träume natürlich baren Unsinn.

Erwachen.

Im allgemeinen werde ich durch irgend einen von der Aussenwelt oder von einem meiner inneren Organe ausgeübten kräftigeren Reiz aus dem Schlaf aufgeweckt, durch einen hellen Lichtschein, durch ein lautes Geräusch, durch ein Hungergefühl oder durch mehrere gleichzeitige derartige Reize. Durch einen genügend starken Reiz wird mein Bewusstseinsnervensystem, das bis dahin in seiner Gesamtheit sehr wenig erregt war, was meinen Schlaf ermöglichte, gleichsam aufgeschreckt. Namentlich wird dasselbe so stark erregt, dass auch diejenigen seiner Associationszellen, welche im speziellen für das Ich das Bewusstsein repräsentieren, durch Reizwirkungen, die von allen Seiten eintreffen, stärker erregt werden, als ihren Schwellenwerten entspricht.

Eine motorische Nervenkombination, die äusserst leicht vom Bewusstseinsnervensystem in Thätigkeit gesetzt wird, ist diejenige, welche das Oeffnen der Augenlider bewirkt. Sie wird

sehr bald genügend stark erregt. Ich schlage also meine Augen auf und nun sehe ich, dass es hell ist, dass ich mich noch im Bett befinde. Meine wahre Ichempfindung kehrt damit zurück, ich gewinne mein volles Bewusstsein wieder. Meine Augen erhalten Eindrücke, die sie schon oft genug erhalten haben, die Eindrücke des anbrechenden Morgens. Für zahlreiche Lichtbilder auf der Netzhaut meines Auges, Lichtbilder, die dem anbrechenden Morgen im Schlafzimmer, in der Umgebung meines Hauses, am Himmel entsprechen, besitze ich Associationszellen, weil diese Lichtbilder schon unzählige Male von mir wahrgenommen worden sind. Aus der Wiederholung dieser Lichtbilder, aus der dadurch bewirkten Erregung der bt. Associationszellen ergiebt sich für mein bewusstes Ich die Thatsache, dass der Morgen angebrochen ist.

Mein Erstes ist es, nach dem Erwachen nachzusehen, wie viel Uhr es ist. Für diesen Vorgang besteht in meinem nervösen Zentralorgan eine besondere Associationszelle, welche schon seit meiner Jugend von den ersten Sinneseindrücken unmittelbar nach dem Erwachen regelmässig erregt worden ist und welche sich namentlich durch erzieherische Einwirkungen gebildet hat. Die erste Gesichtsempfindung, die erste Gehörsempfindung, die erste Tastempfindung nach dem Erwachen, sie alle erregen jene Associationszelle, die in ihrem Erregungszustand die Veranlassung dafür ist, dass ich meinen Blick auf die Uhr richte, um zur Erkenntnis der richtigen und genauen Tageszeit zu gelangen. Ich erkenne an der Uhr, dass es Aufstehenszeit ist. Das Bild der Uhr, das auf der Netzhaut meines Auges erzeugt, von dieser aber ins Gehirn durch optisch reizleitende Nervenfasern weiter geleitet wird, versetzt hier eine Associationszelle in Erregung, und eben diese Associationszelle ist erzeugt worden, als ich gelehrt wurde, aus der Zeigerstellung auf dem Zifferblatt der Uhr die Tageszeit zu bestimmen. Ich weiss also, dass es nunmehr Zeit ist, aufzustehen.

An den früheren Tagen hatte ich den Entschluss gefasst, aufzustehen, wenn die Aufstehenszeit herangerückt war. Ich hatte aufstehen wollen. Für diesen Entschluss, für das Aufstehenwollen ist eine besondere Associationszelle in meinem nervösen Zentralorgan vorhanden; denn dieser seelische Vorgang wiederholt sich Tag für Tag. Es wird also durch die Associations-

zelle, die mich die Aufstehenszeit erkennen lehrt, diejenige andere Associationszelle erregt, welche in mir den Entschluss hervorbringt, aufstehen zu wollen. Mit dieser Associationszelle steht in inniger Verbindung diejenige für mein Wollen, für meinen Willen überhaupt. Die letztere wird daher mit erregt. Es ist eine sehr häufig gebrauchte Zelle, die Associationszelle, die den eigenen Willen dem Ich zur Wahrnehmung bringt. Diese Zelle ist also nunmehr erregt, und zugleich die Associationszelle für den Vorgang des Aufstehens, weil eben die beiden Associationszellen für das eigene Wollen und für das Aufstehen unmittelbar zusammenhängen. Denn jeden Morgen wiederholen sich in dieser Beziehung so ziemlich die gleichen Vorgänge. Infolge der Erregung jener beiden Associationszellen des Wollens und des Aufstehens hat mein Ich die Empfindung, dass ich aufstehen will. Das Ich sieht sich sodann, zufolge der durch die weiter geleiteten Reize erregten Associationszellen, von denen immer eine an die andere durch nervöse Fibrillen gekettet ist, beim Waschen, beim Kämmen, beim Ankleiden, beim Frühstücken usf. Aber siehe da, ich liege immer noch im Bett; ich bin gar nicht aufgestanden! Jenes „Aufstehenwollen“ war nur eine Vorstellung, nur eine Erinnerung an Vorgänge früherer Tage, welche Erinnerung aber an sich noch keine motorischen Nerven in Thätigkeit gesetzt hat. Die blosse Vorstellung des Begriffes „Wollen“ ist vom wirklichen Wollen total verschieden. Jene Vorstellung ist nur ein eingebildeter Wille, sie ist bloss leerer Wahn. Nur diejenige Erregung der Associationszelle „Wollen“, die eine genügende Intensität erreicht, um entsprechende motorische Nervenkombinationen mitzuerregen, muss die That selber nach sich ziehen. Das Aufstehen selber ist aber, als erstes Glied einer langen Kette von motorischen Vorgängen, ein sehr wichtiger Vorgang.

Erste Willenshandlung.

Durch die Erkenntnis, dass ich noch im Bett liege, erschrecke ich. Auch an anderen Tagen ist es vorgekommen, dass ich nicht so zeitig aufgestanden bin, wie es meine Pflicht gewesen wäre. Die Associationszelle, die mich erschrecken lässt, ist nämlich einerseits mit den Associationszellen des Ankleidens, des Frühstückens, des Arbeitens, andererseits mit der Associationszelle

des Nochimbetteliegens verbunden, und sie wird erregt, wenn solche miteinander kontrastierende Associationszellen zugleich erregt sind und erregend wirken. Mit dem Erschrecken ist die Pflicht nahe verkettet; es wird daher auch diejenige Associationszelle erregt, die mir meine Pflicht aufzustehen in Erinnerung ruft. Ich muss aufstehen! Mit jener meine Pflicht im allgemeinen repräsentierenden Associationszelle hängen noch viele andere Associationszellen zusammen, die meinen spezielleren Pflichten entsprechen. Ich muss heute früh noch wichtige Briefe schreiben, vor Erfüllung meiner regelmässigen Tagespflichten, also muss ich aufstehen. Diese Pflicht hat mich früher schon oftmals zum Aufstehen veranlasst. Ich bin dann wirklich aufgestanden, und eine Associationszelle hat sich gebildet mit nervösen Fibrillen nach der bt. motorischen Nervenkombination hin, für den Gesamtvorgang, dass auf das dem Briefschreibenmüssen entsprechende Pflichtgefühl das wirkliche Aufstehen unmittelbar folgte.

Nun folgt in meiner Vorstellung noch eine ganze Reihe von Tagespflichten. Jeder derselben entspricht eine besondere Associationszelle, welche zum wirklichen Aufstehen mich veranlasst, welche mit der zum Aufstehen führenden motorischen Nervenkombination durch nervöse Fibrillen in unmittelbarster Verbindung steht. Je länger ich zaudere, im Bette bleibe, um so stärker wird der Kontrast zwischen den verschiedenen Pflichten und ihrer wirklichen Erfüllung. Um so stärker wird die Associationszelle meines allgemeinen Pflichtgefühls erregt. Denn die Nichterfüllung meiner Pflicht hat erfahrungsmässig ein Unlustgefühl zur Folge, wie durch ganze Ketten von Associationszellen, die in früheren Fällen der Nichterfüllung der Pflicht entstanden sind, dem Ich zum Bewusstsein gebracht wird. Umgekehrt führt aber meine Pflichterfüllung erfahrungsgemäss zu einem Lustgefühl. Weil nun alle Associationszellen, welche die verschiedenen Tagespflichten repräsentieren und sie mit dem Nochnichtaufgestandensein verketten, an die motorische Nervenkombination des wirklichen Aufstehens ihre Fibrillen, ihre Telodendrien senden, ihren früheren erfolgreichen Wirkungen zufolge, so wird diese motorische Nervenkombination nunmehr von sehr vielen verschiedenen Associationszellen aus gleichzeitig erregt, allen Tagespflichten entsprechend, die zum Aufstehen drängen. Die vereinte Wirkung aller dieser Associationszellen hat einen

verstärkten Einfluss auf die genannte motorische Nervenkombination, und schliesslich wird, wenn nur die Erregung der bt. motorischen Nervenzellen eine genügend starke geworden ist, der Vorsatz wirklich ausgeführt. Ich stehe auf.

Unbewusster und bewusster Wille.

Indem ich wirklich aufstehe, will ich aufstehen. Der Wille, aufzustehen, kann aber mehr oder weniger unbewusst sein. Lasse ich alle jene Gründe, die mich zum Aufstehen veranlassen, auf mich einwirken, und stehe ich daraufhin sofort auf, ohne weitere Ueberlegung dieses Zusammenhangs, habe ich vielmehr schon weiter überlegt, während ich aufstand, was fernerhin zu thun sein werde, so ist es zwar mein Wille, dass die bt. motorischen Nerven in Thätigkeit gesetzt werden, dass das Aufstehen verwirklicht werde, aber der Wille, aufzustehen, ist kein bewusster. Nur wenn infolge aller auf mein nervöses Zentralorgan einwirkenden Reize auch der Begriff meines eigenen Willens gleichzeitig zur Geltung kommt, mit anderen Worten, wenn nebst allen oben genannten Associationszellen, wie sie den bevorstehenden Tagespflichten entsprechen, auch diejenige Associationszelle erregt wird und auf die bt. motorische Nervenkombination einwirkt, welche für die Vorstellung meines eigenen Willens sich gebildet hat, welche meinen eigenen Willen selber für das Ich repräsentiert, nur dann habe ich gleichzeitig mit der wirklichen That die Empfindung meines Willens, diese That auszuführen. Erst jetzt hat mein bewusster Wille mich aus dem Bett getrieben. Ich musste nicht nur, sondern ich wollte aufstehen wegen der bevorstehenden Pflichten. Ohne gleichzeitige genügend kräftige Erregung der Associationszelle für mein Wollen ist der Vorgang des Aufstehens ein unbewusst gewollter.

Einen vielfachen und innigen Zusammenhang mit den motorischen Nerven haben die sensiblen Nerven. Weil auf jede stärkere Erregung sensibler Nerven schon von frühester Jugend an eine Erregung motorischer Nerven folgte, welch letztere eine wirkliche Handlung im Gefolge hatte, so sind sensible und motorische Nerven sehr oft durch ganz einfache, die aufgenommenen Reize unmittelbar übertragende Associationsfasern bz. durch kräftig wirkende Associationszellen miteinander verbunden. Für

Handlungen, die täglich ausgeführt werden, sind derart ins Einzelne ausgebildete Associationszellen entstanden, mit Fibrillen nach allen irgendwie in Betracht kommenden Nerven hin, oder für kompliziertere Handlungen sogar ganze Reihen miteinander verketteter Associationszellen, dass nur ein einfacher Reiz von seiten gewisser sensibler Nerven zu erfolgen hat, um die ganze Bewegungsfolge auszulösen. Es wickelt sich dann der ganze Bewegungsvorgang oder die komplizierte Handlung ab, genau so, wie sie täglich sich abgewickelt hat. Besonders wirksam sind dabei die von den sensiblen Nerven herkommenden Reize, teils weil sie in der Regel die intensivsten sind, weil in ihnen noch die grössten unverteilten Energiemengen stecken (S. 93), teils weil eben die sensiblen Nerven durch innige Verbindungen, durch zahlreiche nervöse Fibrillen, durch kräftig ausgebildete Associationszellen hindurch, mit den motorischen Nerven unmittelbar zusammenhängen.

Wirkt also eine von den weiter oben (bei Gelegenheit des Aufstehenwollens) beschriebenen Ketten von Associationszellen für ausschliesslich seelische Vorgänge auf die Associationszelle einer bestimmten Thätigkeit ein, und wird die letztere Associationszelle zugleich gereizt von einer mit ihr innig verbundenen sensiblen Nervenzelle her, so reizt sie die zugehörige Kombination motorischer Nervenzellen wirklich genügend stark, und der durch seelische Vorgänge eingeleiteten gewollten Thätigkeit folgt die wirkliche That. Die Thätigkeit wird auch in diesem Fall mit unbewusstem Willen ausgeübt, wenn bei den Erregungen jener Associationszellen die Associationszelle des eigenen Wollens nicht genügend stark mit erregt worden ist. Wenn umgekehrt das letztere der Fall war, so ist die Thätigkeit eine bewusst gewollte. Wirkt dagegen der gereizte sensible Nerv oder wirken verschiedene gereizte sensible Nerven dermassen unmittelbar auf die motorische Nervenkombination ein, dass die entsprechende Thätigkeit bz. Handlung zu stande kommt, ohne irgend welche vorherige oder gleichzeitige Erregung anderer als der jene beiden Nervenarten unmittelbar miteinander verbindenden Associationszellen, so kann die Thätigkeit bz. Handlung eine ungewollte und unbewusste sein, eine automatische, reflexmässige. Wenn diese aber wirklich ausgeführt worden ist, kommt sie uns nachträglich unter Umständen noch zum Bewusstsein.

Die beiden Arten von bewusstem und unbewusstem Willen, wie sie sich bei unseren Handlungen geltend machen, sind nicht immer scharf voneinander zu trennen. Sogar unendlich viele Uebergangszustände vom völlig bewussten bis zum völlig unbewussten Willen und von der bewussten gewollten bis zu der unbewussten ungewollten Handlung lassen sich denken. Denn die dabei in Betracht kommenden Associationszellen können mehr oder weniger kräftig erregt sein. Der Reiz, der sie erregte, kann sehr intensiv gewesen sein, er kann eben nur den Schwellenwert überschritten haben, oder er kann sogar unter diesem Schwellenwert geblieben sein. Unzählige Abstufungen solcher Erregungen sind denkbar. Zahlreiche Handlungen führen wir in der That mehr oder weniger unbewusst aus. Wir erkennen dies daraus, dass wir oft unmittelbar nach Ablauf einer Handlung absolut nicht mehr wissen, ob wir nun diese oder jene Handlung ausgeführt haben. Oft erinnern wir uns der soeben abgelaufenen Handlung noch ganz dunkel, oft ziemlich gut, oft sehr gut. Nur im letzteren Fall kann offenbar die bt. Handlung mit völlig bewusstem Willen ausgeführt worden sein.

Spezielle Willenshandlungen.

Wir wollen nun wiederum an unserer eigenen Person unter den gewonnenen Gesichtspunkten unsere ersten Beschäftigungen bei anbrechendem Tag genauer verfolgen. Nicht immer sind längere seelische Vorgänge, verschiedene Ueberlegungen nötig, um mich zum Aufstehen zu veranlassen. Bin ich erwacht, habe ich, wie es Tag für Tag geschieht, infolge einer sogleich in Funktion tretenden Associationszelle die Uhr beobachtet und haben, vielleicht nach mehrmaligem Beobachten derselben, die Zeiger der Uhr dasjenige Bild in meinen Augen hervorgebracht, welches mich an die Notwendigkeit des Aufstehens erinnert, so wird dadurch die Associationszelle erregt, die für den Begriff des Aufstehens in meinem nervösen Zentralorgan entstanden ist. Diese Zelle erregt die zugehörige Kombination motorischer Nervenzellen. Vielleicht kommt noch ein äusserer Reiz auf sensible Nerven hinzu, der gleichfalls durch Vermittlung der bt. motorischen Nervenzellen die Thätigkeit des Aufstehens anregt. Mit oder ohne diesen letzteren Reiz möge also die Er-

regung der Kombination motorischer Zellen eine so starke werden, dass die genannte Thätigkeit ausgeführt wird. Ich stehe wirklich auf. Wenn beispielsweise die Bettdecke meinen Fuss zu schwer belastet, also gewisse Tastnerven reizt, so bewege ich bewusst oder unbewusst meinen Fuss, zur Beseitigung jenes Reizes. Durch diese Bewegung, die auch beim Aufstehen selber als Beginn desselben nötig ist, wird aber die ohnehin gereizte Associationszelle für die Thätigkeit des Aufstehens noch mehr gereizt und erregt. Ihre Wirkung auf die zugehörige Kombination motorischer Nerven wird daher verstärkt. Die erste Bewegung, die Fussbewegung, die zu der Kette der Bewegungen des Aufstehens als Anfangsglied gehört, ist ausgeführt, und wenn einmal die Associationszelle der bt. Kombination motorischer Nerven genügend erregt ist, folgt nun ein Glied der Kette auf das andere, bis der ganze Vorgang des Aufstehens zu Ende ist, bis ich völlig aufgestanden bin.

Statt jenes erwähnten Tastreizes kann ein anderer äusserer Reiz das Aufstehen vollends bewirken, bevor noch lange Ueberlegungen deswegen angestellt worden sind. Ich kann die Bedeckung durch die Bettdecke teilweise eingebüsst haben, so dass eine gewisse Kälteempfindung Unlust erregt und das Aufstehen und Ankleiden als Lustgefühl zur Empfindung bringt. Oder ich kann bewusst oder unbewusst die Empfindung haben, es sei mir eine Lust, mich nunmehr zu waschen und zu kämmen. Ein Blick auf meinen Waschtisch kann in diesem Fall genügen, um sofort das Aufstehen in Gang zu bringen.

Aufstehen, Waschen, Kämmen, Ankleiden sind Thätigkeiten, die man täglich mindestens einmal ausführt. Für diese morgens nach genauer Regel aufeinander folgenden Thätigkeiten haben sich in meinem nervösen Zentralorgan der langen Uebung zufolge Ketten von Associationszellen gebildet, die fest miteinander zusammenhängen. Ich stehe auf, sehe den Waschtisch, bewege mich zu demselben hin, ohne mir in der Regel dieser einzelnen Vorgänge weiter bewusst zu werden. Ich lasse dabei die Augen herumschweifen. Ein Blick auf die Waschschüssel genügt, um diejenige Associationszelle zu erregen, die die Thätigkeit des Wasserausgiessens einleitet. Weil diese Associationszelle zugleich ein Glied in jener genannten Kette von Associationszellen ist, wird sie auch noch von ihrer unmittelbaren Vorgängerin der

ganzen Kette erregt. Sie bewirkt daher die weitere und genügend intensive Erregung der zugehörigen motorischen Nervenkombination. Ich giesse also Wasser aus. Ein Blick auf das Handtuch löst in analoger Weise die Bewegung des Ergreifens des Handtuches aus. Das Handtuch wird in das Wasser getaucht. Durch Auswinden wird das überschüssige Wasser entfernt. Der Blick fällt auf die Seife. Dieselbe wird ergriffen, in das Handtuch eingerieben. Dann beginnt das Waschen selber, in ganz bestimmt geregelter Weise, einen Tag wie den anderen.

Es hätte wohl kaum einen Wert, hier Glied für Glied dieser Kette von aufeinander folgenden Associationszellen beim Namen nennen und zeigen zu wollen, wie diese Glieder zusammenhängen, wie immer das eben erregte Glied der Kette, vermöge der langjährigen Uebung, das nächstfolgende Glied miterregt bz. die entsprechende Handlung auslöst. So fest hängen diese Kettenglieder zusammen, dass eine zugehörige Handlung nach der anderen vollzogen werden kann, bis zum vollständigen Angekleidetsein, ohne dass man sich dieser Beschäftigung überhaupt bewusst wird. Es ist dieselbe zur Gewohnheit geworden, und neben der dabei erfolgenden unbewussten seelischen Thätigkeit, neben der Glied für Glied folgenden Erregung dieser Kette von Associationszellen ist eine ganz andere gleichzeitige bewusste oder unbewusste seelische Thätigkeit möglich. Das Aufstehen und Ankleiden kann ganz „in Gedanken“ ausgeführt werden, nicht minder das Frühstücken, das Mittagessen und überhaupt jede Beschäftigung, die Tag für Tag in genau gleicher Weise vorgenommen wird.

Wenn aber jede geistige Nebenbeschäftigung während des Ankleidens unterbleibt, wenn ich während des Eintauchens meiner Hände in das Waschbecken dieselben mit den Blicken immer genau verfolge, wenn ich nur an diejenige Handlung denke, die ich augenblicklich vornehme, dann übe ich die bt. Handlung mit Bewusstsein aus. Ich bin mir bewusst, diese und keine andere Handlung vornehmen zu wollen.

Am Sonntag und an einem mittleren Wochentag, etwa am Donnerstag, sollen beim Waschen und Ankleiden Aenderungen vorgenommen werden. Es sind dies beispielsweise die Tage, an denen ich mich rasiere. Wenn ich nun beim Aufstehen und

Anziehen „in Gedanken“ arbeite, so wickelt Glied für Glied von der Kette der Associationszellen seine entsprechende Thätigkeit ab. Plötzlich sehe ich mich fertig angezogen das Schlafzimmer verlassen, ohne rasiert, ohne verändert angezogen zu sein. An solchen Tagen darf ich also nicht in Gedanken arbeiten während meines Ankleidens. Zum mindesten muss ich in demjenigen Augenblick, in dem die neuen Handlungen zum Zweck des Rasierens, des Anziehens anderer Wäsche, anderer Kleider beginnen sollen, mit Bewusstsein meine Handlungen vornehmen. Ich muss auf meine Handlungen achten. Denn hier hat meine Kette von Associationszellen Doppelglieder, an denen Seitenketten, Nebenketten eingehängt sind. Ich muss mit Bewusstsein, durch Ueberlegung und Berücksichtigung der Notwendigkeit, an solchen Tagen Aenderungen eintreten zu lassen, von den beiden Kettengliedern, die in eines von jenen Doppelgliedern eingehängt sind, das weniger innig mit jenem verbundene wählen.

Die genannte mit jenem Doppelglied loser verknüpfte Associationszelle würde aber niemals in ihren Wirkungen siegen über die mit demselben fester verknüpfte, wenn nicht an solchen Tagen neue Reize hinzukämen, die die erstere Associationszelle gleichfalls erregen. Durch die Erinnerung an den vorherigen Tag, nach dem Erwachen und beim Aufstehen, kommt nämlich die Erfahrung zum Bewusstsein, dass, wie in früheren analogen Fällen, der anbrechende Tag etwa ein Sonntag sei. Mit der entsprechenden Associationszelle für diese Vorstellung ist eng verknüpft diejenige, welche, wenn sie erregt ist, bewirkt, dass nunmehr das Rasieren erfolgt, dass beim Ankleiden Aenderungen eintreten. Es wird also in der That noch auf diesem anderen Wege jene loser angekettete Associationszelle erregt. Habe ich dann die Nebenkette von Associationszellen mit ihren zugehörigen Thätigkeiten einmal eingeschlagen, habe ich von jenem Doppelglied der Hauptkette aus die richtige Abzweigung für den angebrochenen Tag gefunden, so bedarf es fortan keiner weiteren Anstrengung mehr, meine Handlungen genau mit dem Bewusstsein zu verfolgen. Glied für Glied wickelt sich von der Nebenkette ab. Mehr oder weniger kann ich wieder „in Gedanken“ weiter arbeiten. Ohne dass ich es bemerke, gerate ich dann etwa vom Rasieren in das Kämmen, also zum Schluss der Nebenkette und wieder in die Hauptkette

hinein, in der bis zu einer weiteren Abzweigung streng nach der Regel Glied auf Glied folgt.

Willkür.

Verfolgen wir unsere weitere Beschäftigung des ganzen Tages nach dem Ankleiden, nach dem Frühstück, so erkennen wir, dass von unseren sämtlichen Handlungen viele unbewusst, andere aber bewusst ausgeführt werden. Die ersteren sind diejenigen, welche völlig regelmässig Tag für Tag in gleicher Weise sich abwickeln. Sollen sie dennoch einmal abgeändert werden, so müssen wir sie wie die letzteren mit dem Bewusstsein genau verfolgen, um im bt. Augenblick die Aenderung einzuleiten. Wir können in gewissen Fällen willkürlich unsere Handlungen ändern. Wir können uns entscheiden, ob wir den einen oder den anderen Weg einschlagen, ob wir nun die eine oder die andere Handlung vornehmen wollen. Durch eine Kette von Glied für Glied gereizten Associationszellen hindurch sind wir an einer Verzweigungsstelle solcher Zellen angelangt, die auf zwei Wegen den Reiz weiter leiten lässt vermittelst zweier fast gleich ausgebildeten zusammenhängenden Associationszellen.

Keine von den beiden soeben genannten Associationszellen wird vorerst durch die von den bis dahin gereizten Associationszellen jener Kette ausgehenden Reize so stark erregt, dass sie allein den Ausschlag gäbe für den weiteren Verlauf der Reizleitung bz. der daraus hervorgehenden Handlungen. Für diesen Zustand der Unbestimmtheit der einzuschlagenden Wege besitzen wir in unserem nervösen Zentralorgan eine besondere Associationszelle und vermittelst derselben ist uns, nach der entsprechenden Erziehung, in Erinnerung geblieben, dass wir nun willkürlich den einen Weg oder den anderen einschlagen können, dass unser Wille massgebend eingreifen kann. Wir überlegen, das heisst der an jener Verzweigungsstelle der Associationszellenkette angekommene Reiz verweilt scheinbar einen Augenblick, weil vorerst noch keine wirklichen Handlungen, nur seelische Vorgänge auszulösen sind. In Wahrheit geht nämlich der Reiz auf beiden möglichen Wegen weiter. Jeder von den beiden geteilten Reizen besitzt aber nur etwa die halbe Intensität des ursprünglichen Reizes und ist daher weniger als dieser befähigt, für sich allein

motorische Vorgänge wirklich auszulösen. Die Vorstellungen dieser Vorgänge kommen aber zu stande, wenn die zugehörigen Associationszellen erregt sind, bewusste oder unbewusste Vorstellungen.

Jene beiden Reize werden nun immer weiter geleitet. Dabei gelangt einer von ihnen einmal zu der Associationszelle einer Kombination motorischer Nerven, deren Erregung ein Unlustgefühl nach sich zieht, weil bei Ausführung der bt. Handlung für das Ich ein Nachteil irgend welcher Art, früherer Erfahrung zufolge, entstehen würde. Dieser Reiz kann somit nicht stärker werden, er kann sich nicht entwickeln, er muss vielmehr verschwinden (S. 88). Der andere Reiz erreicht dagegen die Associationszelle einer Nervenkombination, deren Erregung von Lustgefühl begleitete motorische Vorgänge nach sich zieht. Diese Kombination wird daher stärker erregt, als die erstere, in ihr wird der Reiz allein stärker sich entwickeln können. Möglicherweise löst dieser mittelbar das Lustgefühl hervorrufende Reiz vermittelst einer besonderen für das Lustgefühl selber entstandenen Associationszelle noch einen Reiz aus in derjenigen Associationszelle meines Wollens, die beispielsweise alle Associationszellen für Thätigkeiten erregen kann, wenn sie selber genügend erregt ist. Alle diese Associationszellen werden dann auf einen höheren Reizbetrag gebracht. Der Schwellenwert für diejenige Associationszelle, deren Erregung die lusterweckende Handlung nach sich zieht, wird demnach unter allen Umständen am schnellsten erreicht und diese Handlung wird wirklich ausgeführt.

Daher ist nun der Weg für die Reizleitung von jener Verzweigungsstelle an vorgeschrieben. Wir wählen willkürlich, denjenigen Weg nämlich, der früher oder später ein Lustgefühl nach sich zieht. Der Weg, der zum Lustgefühl führt, wird wahrscheinlicher mit unserem Willen eingeschlagen, als der zum Schmerzgefühl führende. Demzufolge reizt die das Lustgefühl repräsentierende Associationszelle zwar vorerst nur die Associationszelle meines Wollens; diese reizt aber zum mindesten mittelbar die zur bt. Associationsbahn gehörige Anfangszelle des ganzen Weges, der ganzen Kette aufeinanderfolgender Associationszellen. Wenn dabei der ursprüngliche Reiz kräftig genug war, so wird dieser Weg von den zusammenwirkenden, aus jenem folgenden Reizen wirklich eingeschlagen.

Wird aber auf dem anderen der beiden genannten Wege der Reizleitung gleichzeitig oder unmittelbar vor- oder nachher ein analoges Lustgefühl erregt, so muss sich die Associationszelle des Wollens im bt. Augenblick, wenn einmal das letztere Lustgefühl etwas überwiegt, für den anderen Weg entscheiden. Unter Umständen kommt in solcher Weise, wenn bald auf diesem, bald auf jenem Weg ein überwiegendes Lustgefühl entsteht, wenn da oder dort entsprechende Vorteile zu Tage treten, eine grössere oder geringere Unentschlossenheit zu stande, bis endlich die Vorteile, die der eine Weg bietet, entschieden zu überwiegen scheinen. Je mehr solcher in Verzweigungspunkten aneinanderhängender Ketten von Associationszellen ausgebildet sind, je umfassender also das Gedächtnis ist, durch das die entsprechenden Reihen von Vorgängen (durch Associationszellenketten) in der Erinnerung festgehalten werden, um so weniger schnell wird man sich gegebenenfalls für den einen oder für den anderen Weg zu entschliessen im stande sein, um so länger verweilt scheinbar der Reiz auf derjenigen Associationszelle, die der Unentschlossenheit, dem Ueberlegen des zu wählenden Wegs entspricht.

Wir haben da und dort erwähnt, dass sich kontrastierende Vorgänge fast gleichzeitig dem Gedächtnis einprägen, mit anderen Worten, dass diejenigen Paare von Associationszellen, welche je zwei kontrastierenden Vorgängen entsprechen, in der Regel durch besondere Associationsfibrillen enger miteinander zusammenhängen, als andere Associationszellen, welche miteinander keinerlei Analogie, aber auch keinerlei Gegensätzlichkeit besitzen (S. 78, 84, 127). Wenn zb. der Finger in die Flamme hineingesteckt und dabei verbrannt wird, so entsteht bei genügender Dauer und Intensität der einmaligen Erregung der bt. nervösen Zellen oder doch nach öfterer Wiederholung desselben Vorgangs eine besondere Associationszelle, die diesen Verbrennungsvorgang im Gedächtnis festhält. Wird in später wiederkehrenden Fällen der Finger der Flamme nur genähert, wird aber dieser Bewegungsvorgang gehemmt durch Auftreten eines Unlustgefühls, das früheren Erfahrungen zufolge schon bei der blossen Annäherung des Fingers an die Flamme zu entstehen beginnt, so ist der Erfolg dieser Bewegungshemmung eine Verminderung des Unlustgefühls, also unter Umständen ein Lustgefühl. Für den Vorgang der Be-

wegungshemmung (mit dem Erfolg des Nichtverbranntwerdens) entsteht nach öfterer Wiederholung desselben eine besondere Associationszelle, und diese letztere hängt mit derjenigen des Hineinsteckens des Fingers in die Flamme (mit dem Erfolg des Verbranntwerdens) aufs engste zusammen, beispielsweise schon durch die drei Associationszellen, die den Finger, die Flamme und die Bewegung des Fingers gegen die Flamme repräsentieren. Wird daher die eine Associationszelle jenes Paares durch irgend einen Reiz erregt, so hat dies auch eine Erregung der anderen Associationszelle des Paares zur Folge. Beiden Erregungen entsprechen Vorstellungen des Ich. Das Ich stellt sich einerseits die ungehemmte Bewegung mit dem Erfolg des Verbranntwerdens, andererseits die gehemmte Bewegung mit dem Erfolg des Nichtverbranntwerdens vor; der ersteren Erregung folgt ein Unlustgefühl, der letzteren ein Lustgefühl. Scheinbar wird durch den eigenen Willen des Ich ganz willkürlich die bt. Bewegung des Fingers gegen die Flamme gehemmt. Diese Hemmung folgt dabei dem bereits begonnenen Bewegungsvorgang so schnell, dass dem Ich die Ueberlegung, ob der Bewegungsvorgang zu hemmen oder nicht zu hemmen sei, kaum zum Bewusstsein kommt, namentlich dann nicht, wenn diese nämlichen Vorgänge sich schon öfters abgespielt haben, wenn die bt. Bewegungshemmung bereits eingeübt, wenn die zugehörige Associationsbahn geebnet bz. durch kräftigere Associationsfasern verbessert worden ist.

In analoger Weise entstehen wohl für alle anderen unmittelbar kontrastierenden Vorgänge jedesmal Paare benachbarter und eng miteinander verbundener Associationszellen, so einerseits für das Verletztwerden des Fingers bei zu starker Annäherung desselben an eine Nadelspitze, oder an eine Messerschneide, und andererseits für das Nichtverletztwerden bei genügender und rechtzeitiger Bewegungshemmung; ebenso für die allgemeinen gegensätzlichen Begriffe Ja und Nein, für Geben und Nichtgeben, für Nehmen und Nichtnehmen, für Belohnung und Strafe usf. Wird die eine Zelle eines solchen Associationszellenpaares erregt, so erregt sie selber die andere. Von diesem Zellenpaar an schlagen die bt. Reize beide Wege, beide Associationsbahnen ein. Das Ich glaubt zu überlegen, welchen Erfolg die Benutzung der einen oder der anderen von den beiden

Reizleitungsbahnen nach sich ziehe. Früher oder später ruft der Reiz in der einen Associationsbahn ein Unlustgefühl, der Reiz in der anderen Associationsbahn aber ein Lustgefühl hervor. Eine je längere Zeit bis zum merklichen Hervortreten eines der beiden Gefühle verstreicht, um so länger glaubt das Ich die beiden entgegengesetzten Fälle zu überlegen und beide Erfolge gegeneinander abzuwägen. Schliesslich schlägt der Reiz in grösserer Intensität denjenigen Weg ein, der zum Lustgefühl führt. Der Reiz in der anderen Bahn wird gehemmt und kommt nur in ganz geringer Intensität zur Geltung; in der zugehörigen motorischen Nervenkombination wird der Schwellenwert des Reizes nicht überschritten.

Freiheit des Willens.

Scheint es also hie und da, dass der Mensch willkürlich diesen oder jenen Entschluss fassen könne, so erkennen wir doch andererseits, dass ein solcher Entschluss immer in irgend einer Weise beeinflusst ist. Unser Wille, eine bestimmte Handlung vorzunehmen, wirkt allerdings durch einen Reiz auf die bt. Kombination motorischer Nervenzellen ein. Dieser Reiz muss aber selber wieder eine Ursache haben. Derselbe ist hervorgerufen entweder durch innere oder durch äussere Reizwirkungen auf andere Nervenzellen, die ihn ihrerseits fortgeleitet haben zu der Associationszelle des Willens und von letzterer zu den bt. motorischen Nervenzellen. Wir haben aber weder innere noch äussere Einwirkungen auf unsere Nerven in unserer Gewalt. Wir können nicht willkürlich über dieselben verfügen. Jede Wirkung ist das Ergebnis von Ursachen, die selber wieder aus früheren Wirkungen hervorgegangen sind. Es gilt dies für jeden auf irgend einen Teil unseres Körpers wirkenden Reiz.

Daher entsteht unser Wille aus einer unermesslichen Reihe von aufeinanderfolgenden Wirkungen, über deren Verlauf wir nicht zu verfügen im stande sind. Es giebt keinen freien Willen. Nicht rein willkürlich entscheiden wir uns für diesen oder für jenen Weg. Der eine wählt vielmehr anscheinend blindlings, das heisst nicht willkürlich, sondern willenlos, irgend einem ihm nicht zum Bewusstsein kommenden inneren oder äusseren Reiz gehorchend. Der andere überlegt, sieht in seinem Gedanken-

gang Gründe für den einen, Gründe für den anderen Weg. Schneller oder langsamer entscheidet er sich für den einen oder für den anderen Weg. Aber sein Entscheid hängt ab von den in seinen Vorstellungen aufgetauchten Gründen, und diese Gründe sind die Resultate früherer Erfahrungen, früherer Einwirkungen von anderen Personen, von Ereignissen usf. Er kann nicht beliebig, nicht willkürlich das eine oder das andere wählen. Vielmehr ist es irgend ein Grund, zb. irgend ein Lustgefühl, welches im Augenblick des Entschlusses seinen Willen leitet, welches den Reiz die eine oder die andere von einem jener oben erwähnten Associationszellenpaare ausgehende Associationsbahn einschlagen lässt. Wenn das Ich in seinem nahezu gefassten Entschluss wieder wankend wird, so muss ein anderer genügend kräftig wirkender Grund aufgetreten sein. Dieser kann den Entschluss nach der anderen Seite hinleiten. Wie oft aber auch durch einfachste oder verwickeltere Ueberlegungen der Entschluss geändert werden möge, nie ist es reine Willkür des bt. Menschen selber, die ihn seinen Entschluss treffen bz. ändern lässt.

Aufmerksamkeit.

Die Einwirkungen, die von der Aussenwelt auf die sensiblen Nerven des Ich ausgeübt werden, können sehr intensiv sein. Es kommen dann die Erregungszustände seiner bt. nervösen Zellen dem Ich zum Bewusstsein, und wenn nicht zu viele Reize gleichzeitig kräftig einwirken, werden die Empfindungen, die Vorstellungen, die daraus etwa hervorgehenden Handlungen aller Art bewusste. Das Ich verfolgt alle diese Vorgänge mit seiner Aufmerksamkeit. Indessen bezeichnen wir als „Aufmerksamkeit“ in der Regel ein besonderes Verfolgen von Vorgängen, die ohne solches kaum zum Bewusstsein des Ich gelangen würden. Für die Aufmerksamkeit ist infolge der Erfahrung und der Erziehung eine besondere Associationszelle entstanden. Wird dieselbe erregt, so wirkt sie, wie es scheint, auf schwach erregte Nerven, vielleicht sogar auf alle Nerven hemmend ein. Nur die am stärksten erregten Nervenzellen werden dann einen so starken Erregungszustand erreichen, dass die bt. Reize die zugehörigen Schwellenwerte überschreiten. Alle übrigen äusseren Reize werden möglichst unwirksam. Daher wird die Aufmerk-

samkeit immer nur eine einzelne eng begrenzte Vorstellung auf einmal zu stande kommen lassen oder doch verhältnismässig sehr wenige gleichzeitige derartige Vorstellungen.

Man kann beispielsweise daran denken, einen Einfluss der Associationszelle der Aufmerksamkeit auf den Blutzufluss zum nervösen Zentralorgan zu vermuten, in der Weise, dass durch Erregung jener Associationszelle der Blutzufluss verringert wird. In diesem Fall wird nur eine geringere Zahl von Nervenerregungen den Schwellenwert des bt. Reizes überschreiten. Zugleich sind aber die arbeitenden nervösen Zellen verhältnismässig rascher ermüdet, weil eben ihr Nahrungszufluss der stärkeren Anspannung der Aufmerksamkeit zufolge ein langsamerer ist.

Hypnotismus.

Eine merkwürdige Rolle spielen Aufmerksamkeit und Wille beim Hypnotismus, einem anormalen Zustand, der wohl mit Recht auch als ein Zustand krankhafter Erregung aufgefasst werden kann. Durch äussere Einwirkungen, durch Ermüdung seiner wichtigsten sensiblen Nervenkomplexe, durch Vorspiegelung gewisser falscher Thatsachen, nämlich durch die bestimmte Behauptung des Hypnotiseurs, der gegenwärtige Zustand des zu Hypnotisierenden werde seinen baldigen Schlaf herbeiführen, durch künstliche Schliessung seiner Augenlider oder auch durch andere Mittel kann der Mensch in einen Halbschlaf versetzt werden. Sein ganzes Bewusstseinsnervensystem ist dann so schwach erregt, dass nur noch einzelne äussere Reizwirkungen kräftig genug sind, um in ihm Reize hervorzurufen, die über den Schwellenwert sich erheben. Lässt nun der Hypnotiseur diesen Halbschlaf nicht zu einem völligen Schlaf werden, in dem alle Reize sensibler Nerven des Bewusstseinsnervensystems unter den zugehörigen Schwellenwert herabsinken, lässt er andererseits keine zu kräftigen Reize einwirken, die den wachen Zustand herbeiführen könnten, so bleibt fortan die Aufmerksamkeit des Hypnotisierten ausschliesslich bei den einzelnen gereizten nervösen Zellen.

Einem genügend erfahrenen Hypnotiseur gelingt es, durch entsprechendes Einreden, durch die bestimmte Behauptung, dass eine gewisse Vorstellung die allein richtige, dass alle gegenteiligen

Vorstellungen unrichtig seien, dem Hypnotisierten jene Vorstellung wirklich zu suggerieren. Durch das Einreden einer bestimmten Vorstellung wird nämlich die dieser Vorstellung zugehörige im nervösen Zentralorgan des noch hörenden Hypnotisierten befindliche Associationszelle erregt. Mit dieser Zelle ist unter Umständen noch eine besondere Associationszelle für die entsprechende Kontrastvorstellung eng verbunden, und letztere wird dann miterregt. Der von aussen durch das Gehör (Einreden) herbeigeleitete Reiz erreicht also beide Zellen und der Hypnotisierte hätte sich, wenn er in seinen Ueberlegungen frei wäre, zu entscheiden, ob die unmittelbar angeregte oder die Kontrastvorstellung die richtige sei. Er würde seinen Schluss dadurch ziehen, dass jener Reiz von beiden Zellen nach zwei Richtungen hin weiter geleitet würde, bis auf dem einen oder auf dem anderen Weg ein entstehendes Unlustgefühl diesen Weg als den unrichtigen erkennen liesse (S. 89, 158). Nun wirkt aber der Hypnotiseur selber stark ein. Durch die feste Behauptung des Hypnotiseurs, dass die eine Vorstellung die allein richtige, ihre Kontrastvorstellung aber unrichtig sei, wird der Reiz namentlich in die der ersteren Vorstellung entsprechende Associationszelle geleitet, von der Associationszelle der Kontrastvorstellung aber geflissentlich ferngehalten. Daher stellt sich der Hypnotisierte das vom Hypnotiseur Gewollte, das ihm Eingeredete wirklich vor. In solcher Weise gelingt es dem geschickten Hypnotiseur, die Aufmerksamkeit und den Willen des Hypnotisierten Schritt für Schritt von Associationszelle zu Associationszelle zu leiten, durch seine willkürlichen Einredungen, also durch Suggestion, nötigenfalls unter Zuhilfenahme passender Handlungen. Ueberaus eigentümlich sind die Resultate, die hie und da mit Hypnotisierten erhalten worden sind.

G. Höhere seelische Vorgänge.

Gedächtnis.

a) Auswendiglernen des Einmaleins.

Verhältnismässig einfach erscheinen die seelischen Vorgänge beim Auswendiglernen. Es kann dieses durch die Vermittlung des Gesichtsinns oder durch diejenige des Gehörsinns, oder

vermittelst beider zugleich, oder durch die Vermittlung anderer Sinne erfolgen. Die eigene Ueberlegung kann auch ganz allein Resultate ableiten und das mehrmals in dieser Weise Abgeleitete wird sodann im Gedächtnis sich festsetzen. Betrachten wir beispielsweise das Auswendiglernen des Einmaleins. Zuerst entsteht eine Associationszelle für das Addieren von Zahlen. Haben sich einmal die Bilder der Zahlen, ihre Benennungen, ihre Aussprache durch besondere Associationszellen im nervösen Zentralorgan des Kindes festgesetzt, so wird nun im allgemeinen zuerst 1 zu 1 addiert. Die Erziehung muss hier eingreifen. Der Erzieher muss das Kind lehren, dass das Ergebnis dieser Addition 2 ist. Die Gleichung $1 + 1 = 2$ kann als Definition für den neuen Begriff der Zahl 2 aufgefasst werden. Leicht schliesst sich daran das Verständnis dafür, dass 1 zweimal genommen wurde, weil zwei 1 nebeneinander gestellt worden sind, und dass das Ergebnis gleichfalls 2 ist. Das Kind erkennt, dass $2 \times 1 = 2$ ist. Diesem Erkenntnisvorgang entsprechend, dessen Zustandekommen in irgend einer Weise, unmittelbar oder mittelbar, durch die Erziehung bewirkt wird, ist eine besondere Associationszelle für das Multiplizieren gebildet worden. Hat man ausserdem das Kind zählen gelehrt, mit dem Hinweis darauf, dass immer 1 zu einer Zahl addiert die nächstfolgende Zahl der Zahlenreihe ergiebt, so kann nun ein besonders aufgewecktes Kind aus sich selber das Einmaleins ableiten. Indem es 1 multipliziert mit 3, 4, 5 . . . erhält es 3, 4, 5 . . . Weil es sich 2 durch Addition aus zwei 1 entstanden denkt, kann es zwei 2 nebeneinander stellen, es kann sie addieren und erhält 4. Es erkennt, dass 2 zweimal genommen 4 giebt, $2 \times 2 = 4$. Ebenso wird 6 als Resultat von 2 mal 3 gefunden usf. Werden diese Ableitungen mehrmals vom Kind gemacht, so bilden sich in seinem nervösen Zentralorgan entsprechende Associationszellen aus, namentlich eine Associationszelle, die in seiner Erinnerung festhält, dass $2 \times 2 = 4$ ist, eine andere Associationszelle für $2 \times 3 = 6$. Ebenso entstehen im Kind nach und nach Associationszellen für alle höheren Multiplikationen, die es sich in dieser Weise selber abgeleitet hat, wenn nur dieselben Rechnungen öfters ausgeführt worden sind, wenn etwa das Kind öfters nach dem Ergebnis von 2×2, von 2×3 usf. gefragt worden ist. Für die einfachsten Gleichungen: $1 \times 1 = 1$,

$1 \times 2 = 2$ usf. entstehen im Kind anfangs jedenfalls noch keine besonderen Associationszellen, weil solche Ergebnisse zu selbstverständlich sind, als dass sie sich dem Kind noch besonders einprägen müssten, weil solche Gleichungen im Grunde auf einfache Gleichheiten hinauslaufen. Erst wenn die Schule mit ihrem pedantischen Verlangen kommt, auch diese einfachsten Gleichungen müssen auswendig gelernt und hergesagt werden, bilden sich nachträglich für dieselben besondere Associationszellen aus, die sie ein für allemal in der Erinnerung festhalten.

Es ist klar, dass eine Associationszelle, die etwa die Gleichung $2 \times 3 = 6$ repräsentiert, mit den schon früher entstandenen Associationszellen von 2, von 3 und von 6 zusammenhängen muss; sie hängt ferner zusammen mit der Associationszelle der Multiplikation, in der eine besondere Abzweigung von Fibrillen — wenn nicht eine von ihr abgespaltene besondere Associationszelle hierfür entstanden ist — das „mal" mit dem Symbol $\times$ repräsentieren muss; und endlich hängt jene noch mit der Associationszelle des Gleichseins zusammen, mit dem Gleichheitszeichen $=$ als Symbol. Die Associationszelle für die Gleichung $2 \times 3 = 6$ besitzt also Telodendrien mit Fibrillen, die sich zum Teil von diesen, zum Teil von jenen der soeben genannten Associationszellen abgeschnürt haben. Wollen wir in unserer Vorstellung die Gestalt der Associationszellen für die Gleichung $2 \times 3 = 6$ einigermassen fixieren, so werden wir uns denken müssen, dass eine solche Nervenzelle etwa vier Dendritenäste aussendet, nach den Associationszellen der 2, des mal ($\times$), der 3, des Gleichseins ($=$), und einen Neurit nach der Associationszelle der 6. Die schon früher entstandene Associationszelle für $2 \times 2 = 4$ unterscheidet sich dagegen wesentlich von der soeben betrachteten Associationszelle, namentlich darin, dass sie zwei verschiedene Dendritenäste nach einer und derselben Associationszelle (der 2) aussendet. Analog sind die entsprechenden Associationszellen für die höheren Gleichungen des Einmaleins beschaffen.

Lernt dagegen das Kind das Einmaleins erst in der Schule, so wird hie und da der Ableitung des Ergebnisses der Multiplikation aus der Addition nur wenig Beachtung geschenkt. Nachdem das Kind zählen und addieren gelernt hat, wird es, ohne dass ihm der innere Zusammenhang zuvor klar gemacht

wurde, einfach gelehrt, dass $1 \times 1 = 1$, $2 \times 2 = 4$, $3 \times 3 = 9$ sei usf. Es bilden sich also in ihm die entsprechenden Associationszellen in derjenigen Reihenfolge aus, in der ihm solche Gleichungen beigebracht worden sind. Erst später, wenn Multiplikationen auszuführen sind, welche nicht mehr auswendig gelernt werden mussten, oder welche nicht in Erinnerung geblieben sind, gelangt das Kind zum Verständnis des inneren Zusammenhanges der zuvor ohne weiteres Nachdenken auswendig gelernten einfacheren Gleichungen des Einmaleins mit der Addition.

b) Auswendiglernen von Gedichten.

Im Jugendunterricht wird das Kind dazu angehalten, zuerst Sprüche, dann kleinere und grössere Gedichte auswendig zu lernen. Anfangs lernt es nur vermittelst der akustisch sensiblen und der die Aussprache bewirkenden motorischen Nerven durch Nachsprechen das, was ihm immer und immer wieder vorgesagt worden ist. Später, wenn es lesen kann, lernt das Kind ausserdem noch vermittelst der optisch sensiblen Nerven, indem es laut liest. Noch später gelingt es dem Kind, auswendig zu lernen durch leises Lesen, also namentlich durch Vermittlung der optisch sensiblen und der bt. motorischen Nerven. Zuletzt aber wird es im stande sein, nur durch Lesen allein, nur mit Hilfe der optisch sensiblen Nerven, ohne irgend welches Aussprechen der bt. Wörter, ein kürzeres oder längeres Gedicht auswendig zu lernen. Ganz analog verhält es sich übrigens bei jedem anderen Auswendiglernen, zb. beim Erlernen des Einmaleins, beim Erlernen grammatikalischer Formen usf.

Wir stellen uns beispielsweise vor, das Kind müsse Schillers Lied von der Glocke auswendig lernen. Für alle Wörter im ersten Vers „Fest gemauert in der Erden“ sind wohl bereits Associationszellen im kindlichen nervösen Zentralorgan vorgebildet. Durch mehrmaliges Wiederholen dieses Verses werden zuerst Associationsfasern und schliesslich wird eine neue Associationszelle erzeugt, die die Associationszellen jener fünf Wörter in entsprechender Weise miteinander verbindet, aneinanderkettet. Für den nächsten Vers „Steht die Form, aus Lehm gebrannt“ wird gleichfalls, durch genügend häufiges Hersagen oder Lesen, eine besondere Associationszelle gebildet; ebenso für die weiteren

Verse „Heute muss die Glocke werden", „Frisch, Gesellen, seid zur Hand" usf. Wir stellen uns die Gestalt solcher Associationszellen etwa folgendermassen vor: Nach allen Associationszellen von Wörtern, die eine derartige neue Associationszelle des ganzen Verses miteinander verbinden soll, sendet die letztere Dendritenäste aus, welche mit ihren Fibrillen die Associationszelle des bt. Wortes berühren bz. in dieselbe hineinreichen. Diese Dendritenfibrillen verlaufen auf kürzesten Wegen, wenn durch sie unmittelbar benachbarte Zellen miteinander zu verbinden sind. Andernfalls können ihre Krümmungen, den komplizierten Nervenbahnen entsprechend, von denen sie sich abgespalten haben, überaus vielfach gewunden sein. Die soeben betrachtete Associationszelle eines einzelnen Verses hat nun noch eine Beziehung zu einer anderen analogen Associationszelle. Es weist nämlich, infolge des Auswendiglernens der verschiedenen aufeinander folgenden Verse des Gedichtes, jede Associationszelle für einen bestimmten Vers auf die Associationszelle für den nächstfolgenden Vers hin. Der Reiz bei Erregung der ersteren muss auf die letztere Associationszelle weitergeleitet werden. Demnach geht von der ersteren ein Neurit ab, welcher etwa mit seinen Fibrillen den Zellkörper der letzteren umklammert oder welcher sie in diesen hineinreichen lässt. Auf solchem Weg wird dann der Reiz auf den bt. Zellkörper und somit auf die ganze Associationszelle übertragen.

Wenn daher einmal die erste Strophe jenes Gedichtes auswendig gelernt worden ist, so kann schon der Befehl des Lehrers, dieselbe herzusagen, unter gleichzeitiger Nennung des gleichfalls erlernten Titels des Gedichtes, genügen, um die Associationszelle des ersten Verses in Erregung zu versetzen. Beim Auswendiglernen vermittelst des Aussprechens hat diese Zelle ihre unmittelbaren Beziehungen zu der motorischen Nervenkombination für die Aussprache des Verses erhalten. Es wird also dieser Vers gesprochen. Ist das letzte Wort des Verses beendigt, so hat inzwischen der Neurit der Associationszelle für diesen Vers den Reiz weiter geleitet zur Associationszelle für den nächstfolgenden Vers, der daraufhin gleichfalls gesprochen wird. Die letztere Associationszelle leitet den Reiz weiter zur Associationszelle für den dritten Vers usf. Alle Associationszellen, die sich für sämtliche Verse des ganzen Gedichts gebildet haben, hängen

demnach kettenförmig zusammen, so dass jede dieser Zellen durch Weiterleiten des Reizes die nächstfolgende Zelle in Erregung versetzt und vermittelst der zugehörigen motorischen Nervenkombination die bt. Bewegungen der Sprechwerkzeuge auslöst.

Ist durch irgend eine innere oder äussere Einwirkung, etwa durch eine entsprechende Handlung eines Zuhörers, eine andere neue Reizung im nervösen Zentralorgan des Hersagenden entstanden, die seine Aufmerksamkeit ablenkt (S. 163), so bleibt letzterer stecken, und es gelingt oft nicht mehr, ohne äussere Hülfe bz. ohne Wiederholung des bereits Hergesagten, das verlorene Kettenglied wieder zu finden. Ist es aber gefunden, so kann nun das Hersagen bis zum ordnungsmässigen Schluss fortgesetzt werden, wenn nicht eine neue Störung eintritt.

c) Stärkung des Gedächtnisses.

Wie alle anderen Fähigkeiten, so kann auch diejenige des Auswendiglernens durch Uebung gestärkt werden. Das Gedächtnis an sich kann durch Uebung gestärkt werden. Bei einem vollkommenen Gedächtnis würde jeder einmal erlebte, gesehene, gehörte, überhaupt irgendwie empfundene oder selber ausgeführte Vorgang eine so vollkommen ausgebildete Associationszelle im nervösen Zentralorgan hinterlassen, dass für jede, auch die kleinste merkliche Einzelheit des Vorgangs mindestens eine bestimmte nervöse Fibrille, zur Herstellung der bt. Associationsbahn, vorhanden wäre. In späteren Zeiten könnte sich dann der Besitzer des vollkommenen Gedächtnisses aller bt. Vorgänge noch genau erinnern, in der Reihenfolge ihres Auftretens, von einem bestimmten Vorgang an, dessen zugehörige Associationszelle durch irgend einen Reiz erregt worden wäre.

So leicht und rasch entstehen aber in der Regel die Associationszellen in unserem nervösen Zentralorgan nicht. Es hätten überdies in letzterem gar nicht so viele nervösen Zellen Platz, als für ein vollkommenes Gedächtnis nötig wären. Würde nach und nach das ganze Volumen des nervösen Zentralorgans mit Associationszellen ausgefüllt, die erlebte Vorgänge in der Erinnerung zurückhalten, so wären zuletzt keine nervösen Substanzen mehr für neue selbständige Ueberlegungen verfügbar.

In der That läuft derjenige Mensch, der sein Gedächtnis in übermässiger Weise ausbildet, Gefahr, dafür in eigenen selbständigen Ueberlegungen, die eine nur teilweise bz. vorübergehende Veränderung nervöser Zellen seines Zentralorgans durch augenblicklich wirkende Reize verlangen, eine Schwächung zu erfahren, wie besonders einzelne bekannte Zahlen-Gedächtniskünstler erkennen lassen.

Für die erlebten Hauptvorgänge entstehen allerdings immer besondere Assoeiationszellen, und diese Hauptvorgänge bleiben daher in der Erinnerung haften. Für die ganz unwichtigen Nebenvorgänge bilden sich dagegen keine besonderen Assoeiationszellen aus, höchstens etwa Assoeiationsfasern, die von jenen Assoeiationszellen sich abzweigen. Auch diese kommen aber unter Umständen nur so schwach zu stande, dass sie im Kampf um die Nahrung mit benachbarten kräftigen Assoeiationszellen wieder zerfallen, dass sie resorbiert werden, wenn sie nicht mehr weiter arbeiten, wenn sie nicht mehr gebraucht werden. Infolge solcher Resorptionen können jene Associationszellen für die Hauptvorgänge selber mehr oder weniger isoliert werden und einen grossen Teil ihrer Fibrillen wieder verlieren. Ihre Gesamtform wird dadurch vereinfacht. Ihr Zusammenhang aber mit den entsprechenden Assoeiationszellen wird dadurch gelockert und daher bleibt dann die Aufeinanderfolge jener Hauptvorgänge nicht mehr im Gedächtnis haften.

Werden solche isolierte Assoeiationszellen zufällig erregt, etwa im Traum (S. 139), so gelangt der bt. Vorgang scheinbar unvermittelt zur Vorstellung, wie wenn er durch einen Gedankensprung erreicht worden wäre. Auch in wachem Zustande kommen aber Gedankensprünge vor, etwa dadurch, dass während des Erlöschens eines längere Zeit weiter geleiteten Reizes ein neuer Reiz durch irgend ein Sinnesorgan aufgenommen und auf das nervöse Zentralorgan übertragen wird.

Das Hören oder Lesen eines Gedichtes ist von einer ganz bestimmten Gedankenfolge begleitet, das heisst, es werden dabei ganz bestimmte Ketten aneinander gehängter Assoeiationszellen, wie sie den einzelnen Wörtern entsprechen, nach und nach in Erregung versetzt. Die nämliche Gedankenfolge wird beim Auswendiglernen fortwährend wiederholt, bis sich dieselbe im Gedächtnis festgesetzt hat, bis aller Wahrscheinlichkeit nach

nicht nur einzelne Associationsfasern, sondern eine oder mehrere besondere hierfür gebildete Associationszellen die Aufeinanderfolge der bt. Erregungen genau geregelt haben. Beim Wiederhersagen wickelt sich dann die nämliche Gedankenfolge wieder ab.

Ganz ähnlich sind die Vorgänge im nervösen Zentralorgan beim Auswendiglernen und Wiederhersagen von Prosa, handle es sich dabei um biblische Sprüche oder um Fabeln oder Geschichten oder Reden, wie sie in der Schule in aufsteigender Reihenfolge geübt werden. Doch spielt hier das Gehör eine etwas andere Rolle als dort; denn Versmass und Reime fallen bei der Prosa weg. Dafür muss der Lernende seine Aufmerksamkeit um so mehr dem gedanklichen Inhalt des bt. Textes zuwenden.

Logischdenken.

Verschieden von der Gedankenfolge des Auswendiglernens ist die Gedankenfolge des Logischdenkens. Schon in seinen ersten Lebenstagen lernt das Kind Gegenstände miteinander vergleichen (S. 39). Niemals sind zb. zwei von ihm gesehene Gegenstände absolut gleich. Sie können einander aber ähnlich sein, sogar sehr ähnlich. Verschiedene Gegenstände können ähnliche Eigenschaften besitzen, sie können in ähnlichen Zuständen sich befinden, sie können ähnliche Thätigkeiten ausüben. Auch rein seelische Vorgänge können ähnlich sein. Je grösser die Aehnlichkeiten der bt. neuen mit den älteren Vorgängen sind, um so stärker werden die zugehörigen bereits gebildeten Associationszellen bz. Associationsfasern erregt. Daher muss sich unwillkürlich im Kind nach und nach die Fähigkeit entwickeln, Vorgänge aller Art miteinander zu vergleichen.

Ausserdem lernt das Kind durch mannigfache Erfahrungen namentlich auch infolge der Erziehung, erkennen, dass gewisse Vorgänge die Wirkungen bestimmter Ursachen sind. Zuerst lernt es solches an den allereinfachsten auf seine eigene Person sich beziehenden Vorgängen. Nach und nach erstreckt sich aber seine Erkenntnis auch auf komplizierterc, weniger unmittelbar mit ihm selber zusammenhängende Vorgänge. Weil es nun ähnliche Vorgänge miteinander vergleicht, einer entsprechend starken Erregung bereits gebildeter Associationszellen zufolge, sieht es, dass

ähnliche Ursachen im allgemeinen ähnliche Wirkungen haben. Das Kind gelangt somit allmählich zur Erkenntnis, dass neue ihm bis dahin unbekannte Ursachen, wenn sie früher ihm bekannt gewordenen Ursachen ähnlich sind, Wirkungen haben werden, die den ihm bekannten Wirkungen der letzteren ihm bereits bekannten Ursachen ähnlich sind.

Mit dieser Erkenntnis ist der Grundstein des Logischdenkens gelegt. Die Vergleichung von Vorgängen, von Ursachen und von Wirkungen, und die Schlussfolgerung, dass ähnliche Ursachen zu ähnlichen Wirkungen führen, müssen beim Logischdenken fortwährend durchgeführt werden, wenn auch die Reizleitungen in den bt. Associationszellenketten und demnach die entsprechenden Gedankenvorgänge in der Regel so rasch aufeinander folgen, dass wir uns dieser Gedankenarbeit im einzelnen nicht mehr bewusst bleiben. Je deutlicher ein Mensch den Zusammenhang jeder von seinen bt. Associationszellen mit diesen und jenen anderen Associationszellen empfindet, je genauer die gegenseitigen Beziehungen dieser Associationszellen untereinander zu seinem Bewusstsein kommen, um so mehr wird er streng logisch zu denken im stande sein. Der Grenzfall aber, die absolut sichere Kenntnis des Zusammenhangs der Associationszellen, um die es sich allein handelt, welche Kenntnis keine Schlussfolgerung durch Vergleichungen mehr erfordert, entspricht nicht dem Logischdenken, sondern dem Wissen.

Wichtigkeit der ersten Erziehung.

Unsere Untersuchungen führen uns immer wieder zu dem Ergebnis, dass die komplizierteren Vorgänge aus den einfachsten sich nach und nach entwickelt haben müssen. Der erste Grund zum Logischdenken muss sicher schon in der allerfrühesten Jugend gelegt worden sein. Schon in den ersten Lebenstagen werden, wie wir oben erwähnt haben, Aehnlichkeiten erkannt und daher Vergleichungen gemacht, sodann Wirkungen als die Folgen bestimmter Ursachen erfahren und aufgefasst. Sehr früh können ferner dem Kind die Grundlagen dafür beigebracht werden, Recht von Unrecht, das Erlaubte vom Unerlaubten zu unterscheiden. Vermittelst dieses Unterscheidungsvermögens wird der später sich entwickelnde eigene Wille in die richtigen Bahnen

geleitet. Meistens geschieht diese erste Erziehung mehr oder weniger unbewusst durch die Mutter, durch eine Amme, durch ein Mädchen usf. Die Seele des Kindes wird daher der Seele dieser ersten Erzieherin, bz. eines ersten Erziehers ähnlich werden.

Am wirkungsvollsten ist bei einer solchen Erziehung die Konsequenz. Wenn nicht Launen, sondern konsequente Gedankenarbeit die Handlungen derjenigen Person bedingen, die den frühesten Einfluss auf die Seele des Kindes in Händen hat, so entwickeln sich in diesem die Grundlagen für die seelischen Vorgänge entsprechend konsequent. Das Kind wird für konsequente Gedankenarbeit befähigt. Nur mit grösserer Mühe gelingt es, nachdem einmal das Bewusstseinsnervensystem des Kindes eine gewisse Ausbildung erfahren hat, anderen späteren Erziehern, die seelischen Vorgänge des Kindes teilweise noch in andere Bahnen zu lenken. Vollkommen gelingen kann dies nie. Es ist deshalb ein unverantwortlicher Leichtsinn vieler Mütter aus den sg. besseren Ständen, in Fällen, in welchen es nicht unbedingt notwendig ist, ihre Kinder gerade während der ersten Wochen ihres Daseins vollständig oder doch teilweise in den Händen von Ammen zu lassen, deren Charakter nicht als entschieden gut erkannt worden ist. Jeder Verkehr von Individuen schlechten Charakters in unmittelbarer Umgebung des Kindes hat auf die in dem letzteren entstehenden Associationszellen bz. Associationsfasern, also auch auf die in ihm entstehenden seelischen Vorgänge den ungünstigsten Einfluss. Dieser Einfluss ist in gleichen Zeiträumen ein um so grösserer, je früher das Empfindungen aufnehmende Kind demselben ausgesetzt wird.

Verantwortlichkeit.

Zwar könnte man aus unseren Entwicklungen den Schluss zu ziehen versuchen, es sei unnötig, sich besonders anzustrengen, um einen guten Einfluss auf die Entwicklung der kindlichen Seele zu gewinnen. Ueberhaupt sei es unnötig, seinen eigenen Willen für die Leistung irgend einer Arbeit, für die Ueberwindung irgend eines unangenehmen Hindernisses geltend zu machen. Der Wille sei ja ohnehin nicht frei (S. 162). Es sei unnütz, das Gute zu wollen, weil ja alles schon vorausbestimmt

sei und weil auch der eigene Wille von selber in ganz bestimmte Bahnen gelenkt werde, gemäss der Aufeinanderfolge aller früheren vom bt. Menschen erlebten Vorgänge. Es sei dementsprechend auch nicht nötig, Moral üben und sittlich rein leben zu wollen.

Würde ich durch meine hier durchgeführten Erörterungen einem Leser solche Ueberzeugungen beibringen und würde er infolge derselben verkommen, so könnte ich dafür verantwortlich erklärt werden. Indessen ist meine eigene Entwicklung nicht von mir selber geleitet und beherrscht worden, sondern von äusseren Verhältnissen, von der Natur, von meinen Erziehern. Insbesondere sind von meinen Eltern in meinen ersten Lebenstagen die Grundsteine für meine seelische Entwicklung gelegt worden, und der letzteren zufolge ist ja auch dieses Buch entstanden. Demnach wären hauptsächlich meine Eltern für die Wirkungen meines Buches verantwortlich. Wenn wir aber logisch weiter schliessen, so reicht eine solche Verantwortlichkeit weiter und weiter zurück. Auf eine immer grösser werdende Personenzahl, namentlich auf alle meine Ahnen verteilt sie sich. Weil aber ausserdem die äusseren Verhältnisse teilweise Schuld an meiner Entwicklung tragen, die selber stets wieder aus anderen Verhältnissen hervorgegangen sind, wie die Wirkungen aus den Ursachen, so ist eine Unzahl gegenwärtiger und vergangener Verhältnisse und daher auch eine Unzahl meiner Zeitgenossen und ihrer Vorfahren verantwortlich zu erklären für das Entstehen und für die Wirkungen meines Buches. Das Buch ist entstanden vermöge der bisherigen Entwicklung der Welt selber, und diese ist somit für dasselbe und für seine Folgen verantwortlich.

Andererseits könnte jemand denken, jener durch ungünstige Verwertung meiner Entwicklungen verkommende Leser meines Buches sei selber an seinem Verkommen schuld, weil er nicht dem Guten, sondern dem Bösen, oder doch dem Unrechten lieber sich zuwende als dem Rechten. Indessen ist ja sein eigener Wille nicht frei. Wählt der Mensch das Böse statt des Guten, fängt er an, unmoralisch zu leben, so ist er dafür auch nicht selber verantwortlich, vielmehr seine Erzieher, seine Vorfahren, die ganze Welt, aus der er sich entwickelt hat.

Müssen wir zwar diese Schlussfolgerung der Unverantwortlichkeit des einzelnen für seine Handlungen ziehen, so kann ich

andererseits doch nicht umhin, auf die Folgen eines solchen irregeleiteten eigenen Willens, welcher das Böse sucht, oder eines Willens, welcher doch nicht entschieden das Gute wählt, aufmerksam zu machen. Jedes Volk hat über „gut“ und „böse“ gewisse Vereinbarungen getroffen, die durch Erziehung von Generation zu Generation übertragen werden. Für die entsprechenden Anschauungen tritt die Mehrzahl der Glieder des Volkes ein. Ein Mensch, der das Böse will, wird von den übrigen zum gleichen Volk gehörenden Menschen davon abgehalten, nötigenfalls mit Gewalt. Ist oder scheint jener unverbesserlich, so wird er unter Umständen sogar getötet, aus der Welt geschafft. Dadurch kann er selber unschädlich gemacht werden für seine Zeitgenossen. Er erzeugt fortan keinen Nachwuchs mehr, der seine bösen Charaktereigenschaften erben würde. Es giebt Völker, die auch die Verwandten und insbesondere die Nachkommen eines schweren Verbrechers töten, weil die ererbten bösen Eigenschaften in diesen früher oder später aller Wahrscheinlichkeit nach doch zum Durchbruch kommen.

Allerdings ist der Mensch in hohem Grade äusseren Einflüssen zugänglich, und bei manchen Menschen mag es gelingen, durch passende Belehrung den Sinn für das Gute auch späterhin noch zu stärkerer Entwicklung zu bringen, als denjenigen für das Böse. Daher sollte auch jedes Volk dafür sorgen, dass alle seine Glieder durch Belehrung immer nur auf das Gute hingewiesen, vom Bösen aber abgehalten würden. Radikaler und für die moralische Entwicklung der Menschheit, für ihre sittliche Hebung nützlicher ist aber gewiss das Verfahren, notorische Verbrecher mit ihren zeugungsfähigen Blutsverwandten ohne weiteres aus der Welt zu schaffen. Denn diese verschlechtern vermittelst ihrer die bösen Eigenschaften erbenden Nachkommen den mittleren Bestand menschlicher Moral. Vielleicht muss jenes Verfahren, Verbrecherfamilien völlig auszurotten, in späteren Epochen eingeschlagen werden, wenn einmal die Bevölkerung der Erde eine übermässig dichte geworden ist, damit für die Folge der dannzumal stärker entbrennende Kampf ums Dasein ein genügend friedlicher bleibe. Dann erst wird die menschliche Moral zu höchster Blüte sich entfalten.

H. Niederes Seelenleben.

Tierseele.

Unzweifelhaft ist der Mensch das höchstentwickelte lebende Wesen. Ganz besonders ist der menschliche Geist hoch entwickelt. Auffallenderweise bilden sich aber die meisten Menschen ein, noch viel mehr zu besitzen, als es wirklich der Fall ist. Dass nämlich nur die Menschen allein ein Seelenleben haben, ist durchaus nicht wahrscheinlich. Doch wird die gegliederte Sprache in der Regel als alleiniges Besitztum der Menschen bezeichnet. Der Mensch hat seine Sprache, die er spricht und die er versteht, wenn andere Menschen sie sprechen, und gar viele Menschen glauben nun, keine Tierart, keine Tierfamilie habe auch irgend eine Sprache.

Allerdings giebt es andererseits gewiss manche Naturforscher, welche davon überzeugt sind, dass bei Tierfamilien gleichfalls Verständigungen durch eine Art Sprache möglich und wahrscheinlich sind. Man darf nur nicht glauben, die Tiere brauchen zu ihrer Sprache ebensoviele Laute, wie wir. Vielmehr muss unter allen Umständen die Tiersprache im Vergleich zu der menschlichen Sprache eine ungemein einfache sein; denn die Empfindungen, die Bedürfnisse, die Handlungen der Tiere sind ja so viel einfacher als die unsrigen. Je höher entwickelt aber eine Tierart ist, um so ausgebildeter, entwickelter muss die Art und Weise sein, wie die verschiedenen Individuen derselben Familie sich einander verständlich machen, um so wahrscheinlicher ist es, dass die bt. Tierfamilien irgend eine Sprache besitzen. So werden zb. die einzelnen Familien bz. Völker vieler Affenarten eine ziemlich ausgebildete Sprache haben, obschon wir Menschen, in der Beschränktheit unseres Auffassungsvermögens, den Sinn dieser Sprache und ihrer Laute vorerst nicht zu enträtseln vermögen.

Hauptschuld an unserem gegenwärtigen Unvermögen, die Tiersprachen zu verstehen, ist übrigens die voreingenommene Ueberzeugung der meisten Menschen, dass eine solche Sprache eine Unmöglichkeit sei, und der dadurch hervorgerufene Mangel an Interesse, eine solche Sprache verstehen zu lernen. Der sprachlose Affenmensch als Uebergangsstufe zwischen Tier und

Mensch ist ein Unding. Gewiss werden die wilden Eingeborenen neu aufgefundener Länder, die niemals zuvor andere Menschen sahen, als die Glieder ihrer eigenen Familie oder ihres Stammes, gleichfalls denken, wenn sie einen Kulturmenschen sprechen hören, er stosse nur unverständliche Laute aus.

Ganz analog wie die menschliche muss aber auch die Tierseele entstehen bz. sich entwickeln. Ein junges Tier, das soeben zur Welt gebracht worden ist, empfindet, führt Bewegungen aus. Zuerst sind diese Vorgänge automatische, unbewusste; sie werden aber, ganz ähnlich wie es oben beschrieben wurde (S. 114), nach und nach zu bewussten Empfindungen, zu bewussten Bewegungen und Handlungen. Von seiner Geburt an entwickelt sich im jungen Tier eine Seele, freilich eine weit weniger ausgebildete als im Menschen. Das etwas höher entwickelte Tier empfindet sein Ich, es hat sein Selbstbewusstsein, seinen eigenen Willen. Beispiele dafür giebt es genug. Wir könnten sie Tag für Tag vor uns sehen, wenn wir nur wollten.

Je tiefer wir indessen im Tierreich von Art zu Art hinabsteigen, um so weniger weit kann sich die Tierseele entwickeln. Aber irgendwelche Erfahrungen werden von jedem Tier während seines Lebens gemacht, wenn auch dieselben noch so einfacher Art sind. Folgerichtigerweise müssen wir schliessen, dass kleinste Spuren seelischer Entwicklung schon bei den einfachsten uns bekannten, bei den einzelligen Lebewesen, bei den Protisten vorhanden sind, ja sogar schon bei den noch viel kleineren Lebewesen, die niemals in den Bereich unserer Sichtbarkeit gelangen. Es müssen ferner seelische Vorgänge, obschon im allgemeinen viel einfachere als im Tierreich, auch im Pflanzenreich anzutreffen sein. Denn Reizaufnahme, Reizleitung und Reizübertragung kommen auch in diesem Reiche vor, wenn schon die Reize in den Pflanzen von Zelle zu Zelle vielfach nicht durch nervöse Fibrillen, sondern durch flüssige Substanzen übertragen werden mögen.

Zellseele.

Fassen wir eine einzellebende Zelle noch etwas näher ins Auge. Offenbar macht dieselbe vom Augenblick ihrer Entstehung, vom Augenblick ihrer Abschnürung von einer Mutter-

zelle an ihre eigenen Erfahrungen; es heisst das ungefähr so viel, dass Reize, die regelmässig oder sehr intensiv von der Aussenwelt auf sie übertragen werden, in ihrem Inneren bleibende Veränderungen hervorrufen, denen zufolge sie späterhin auf solche Reize anders reagiert als zuvor. Durch solche Reize werden nämlich in erster Linie ihre reizleitenden Substanzen zum Funktionieren veranlasst; die nervösen Fibrillen der Zelle arbeiten, assimilieren, sie vergrössern und teilen sich. Durch jene Reize entstehen daher ganz neue Fibrillen.

Wir haben seiner Zeit die Vermutung ausgesprochen, dass schon die einfachen Zellen ihr nervöses Zentrum besitzen und dass ein solches wahrscheinlich im Polkörperchen zu suchen sei (I, S. 190). Es werden daher Reize von der Aussenwelt auf die Zelle durch sensible nervöse Fibrillen von der gereizten Stelle der Zelloberfläche zum Polkörperchen weitergeleitet; von diesem aus werden motorische nervöse Fibrillen erregt und durch ihre Erregung werden sie gewisse Bewegungen, Handlungen der Zelle zur Folge haben. Sensible Fibrillen, die häufig genug von der Aussenwelt ausgeübte Reize aufgenommen und auf das nervöse Zentrum der Zelle übertragen haben, vergrössern sich durch Assimilation so stark, dass sie sich teilen, dass aus ihnen durch Verdopplung neue den ursprünglichen benachbarte sensible Fibrillen entstehen. Analog verhält es sich mit denjenigen motorischen nervösen Fibrillen, die vom beginnenden selbständigen Dasein der Zelle an öfters zu arbeiten, also irgendwelche Handlungen der Zelle auszulösen veranlasst worden sind. Sie vermehren sich. Es entstehen neue motorische nervöse Fibrillen. Sind ferner gewisse Zellreizungen durch die Aussenwelt und darauf folgende bestimmte Zellhandlungen irgend welcher Art für eine Zelle öfters vorgekommen, so haben bestimmte nervöse Fibrillengruppen derselben öfters zusammen gearbeitet und zusammen assimiliert. Es sind daher den bt. reizleitenden Fibrillen parallel neue besondere Fibrillen entstanden, die für die Zelle die Erfahrung repräsentieren, dass ein gewisser von der Aussenwelt herkommender Reiz mit einer bestimmten Handlung beantwortet wird. Bei sehr häufiger Wiederholung solcher Reize wird zuletzt die zugehörige Handlung der Zelle ganz automatisch erfolgen. Für alle genügend häufig miteinander verbundenen Reizungen und Handlungen entstehen neue nervöse Fibrillen,

feinste Associationsfasern, also bilden sich Associationsbahnen bz. Reflexbahnen. Bei einfachen Zellen, in denen nur ein einziges nervöses Zentrum sich befindet, ist auch die Erfahrung nur eine sehr einfache. Aber eine solche ist da, sobald einmal eine neue Associationsbahn gebildet ist, und kommt sodann ein neuer Reiz von der Aussenwelt her, den früheren Reizen nicht gleich, aber doch ähnlich, so dass die sensiblen Fibrillen in ähnlicher Weise gereizt werden wie früher, so wird dieser Reiz, der früheren Erfahrung zufolge, doch mit der gleichen Handlung beantwortet werden.

Wir erkennen aus diesen Analogieschlüssen, dass auch die Zelle beim Beginn ihres selbständigen Daseins, also etwa im Augenblick ihrer Abspaltung von einer Mutterzelle, ein fertiges System nervöser Fibrillen in die Welt mitbringt. Unseren früheren Entwicklungen entsprechend werden wir dieses nervöse System, welches dafür zu sorgen hat, dass die Korrelation der Zellsubstanzen untereinander jederzeit in richtiger und zweckmässiger Weise erhalten bleibt, folgerichtig das sympathische nervöse Fibrillensystem nennen, während das zweite erst während des selbständigen Daseins der Zelle entstandene nervöse Fibrillensystem, welches sich aus dem ersten abgespalten hat, das unserem Bewusstseinsnervensystem analoge Fibrillensystem der Zelle ist. Durch dieses letztere empfindet und handelt die Zelle, immerhin unter Vermittlung ihres ersten, ihres sympathischen nervösen Fibrillensystems. Daher werden in solcher Weise gewissermassen seelische Vorgänge in der Zelle selber zu stande kommen, freilich nur überaus einfache seelische Vorgänge. Definieren wir die Seele in der früher angegebenen (S. 3) und hier noch erweiterten Weise, so erhält allerdings jede selbständig lebende Zelle, also jeder Protist, aber auch jedes Ei und jedes Spermatozoon, vom Beginn ihres selbständigen Daseins an eine eigene Seele. Wir können in der That von einer Zellseele sprechen.

Zellenstaaten, in denen keine besonderen Nervenzellen haben nachgewiesen werden können, und Zellenfamilien haben dennoch ihre Zellen mehr oder weniger differenziert. Die für die Reizleitung passendsten Zellen sind zu specifisch nervösen Zellen geworden (II, S. 14), auch dann, wenn sie physikalisch oder chemisch sich nicht so wesentlich von ihren Nachbarzellen unterscheiden, dass sie als eine besondere Zellenart aufgefasst werden

müssen. Diese nervösen Zellen verändern sich dann ähnlich, wie die oben behandelten einfachen Zellen, wenn sie regelmässig Reize von der Aussenwelt aufzunehmen bz. zu übertragen haben. Es entstehen nämlich in ihnen neue nervöse Fibrillen, sensible, motorische und Associationsfibrillen; aus dem ursprünglichen ersten beim Beginn des selbständigen Daseins des bt. Wesens schon vorhandenen sympathischen nervösen Fibrillensystem entsteht während dieses Daseins ein neues zweites nervöses Fibrillensystem. Die Reizvorgänge im letzteren können als seelische Vorgänge aufgefasst werden, bezüglich des bt. Zellenstaates oder der Zellenfamilie, denen durch Vermittlung ihres sympathischen nervösen Fibrillensystems die Reize zur Wahrnehmung gebracht werden.

Monerenseele.

Noch tiefer, bei noch einfacheren Lebewesen, lassen sich entsprechend einfachere seelische Vorgänge vermuten, bei den mit unseren optischen Hülfsmitteln noch nicht sichtbaren Moneren, die wir als die Vorstufe der Zellen im ersten Teil dieses Buches behandelt haben. Denn die Moneren sind nach unseren damaligen Entwicklungen Aggregate verschiedenartiger Molekeln bz. verschiedenartiger Molekelgruppen. Beginnt ein solches Molekelaggregat ein selbständiges Dasein, so muss es gelegentlich Reize von der Aussenwelt aufnehmen. Diesen Reizen entsprechend verändert es einen Teil seiner Molekeln, durch Aufnahme neuer Atome, oder durch Abgabe von Atomen oder durch Umlagerung solcher. Denn darin besteht ja, nach unseren früheren Definitionen, im wesentlichen die Reizaufnahme und die Reizübertragung. Diejenigen Molekeln nun, die am günstigsten für den weiteren Bestand der bt. Art von Molekelaggregaten den Reiz aufgenommen und weitergeleitet bz. unschädlich gemacht haben, vermehren sich andauernd am stärksten durch Assimilation, vermöge ihres stärkeren Arbeitens, und die neuen derartig gebildeten Molekeln repräsentieren sodann für das ganze Molekelaggregat die Erfahrung für die günstigste Abwendung des entsprechenden von aussen kommenden Reizes. Der Erfolg solcher Reizwirkungen für das Molekelaggregat kann etwa darin bestehen, dass dieses an einer anderen passenden Stelle neue

Atome aufnimmt oder Atome abgiebt oder solche umlagert. Dadurch entsteht dann entweder eine Bewegung oder eine Sekretion oder auch nur eine solche chemische Veränderung von Teilen des Aggregates, dass eine weitere stärkere Einwirkung des bt. von aussen kommenden Reizes unterbleibt. Wenn wir wollen, dürfen wir in diesem Sinn von Monerenseelen sprechen.

Molekelseele.

Wir können endlich noch weiter gehen. Wir können einzelne Molekeln, namentlich kompliziertere einem der organischen Reiche angehörige Molekeln, die gewissermassen ein selbständiges Dasein führen, also etwa die Molekeln eines entsprechenden Gases oder Dampfes, unter den bisherigen Gesichtspunkten näher untersuchen, indem wir sie als Aggregate von vielen Atomen auffassen. Wir finden dann, dass wiederum entsprechend einfachere Vorgänge auch bei ihnen sich abspielen.

Nimmt ein solches Atomaggregat irgendwelche, etwa chemische Reize von aussen auf, so verändert es in entsprechender Weise seinen Atombestand. Die Molekel nimmt an der unmittelbar gereizten Stelle ein neues Atom auf oder sie giebt ein Atom ab oder lagert ein solches um. Durch derartige chemische Vorgänge werden aber die übrigen Atome der Molekel in einen veränderten Schwingungszustand versetzt. Der bt. Reiz wird daher weitergeleitet. Dieser Reiz kann auch bei der Molekel zur Folge haben, dass an einer anderen Stelle derselben ein neues Atom angelagert, ein Atom abgespalten oder ein solches umgelagert wird.

Der chemischen Konstitution gemäss haben in der Molekel alle Atome, abgesehen von ihrer Beweglichkeit, genau bestimmte Lagen bezüglich ihrer Nachbaratome. Hat eine Molekel infolge jenes chemischen Reizes ein neues Atom aufgenommen, so repräsentiert dieses letztere in allereinfachster Weise für die ursprüngliche Molekel die Erfahrung, dass früher ein bezüglicher Reiz auf dieselbe ausgeübt worden ist. In der That ist dadurch die Reizleitung der Molekel entsprechend verändert worden, und wenn nunmehr ein neuer gleichartiger Reiz auf die Molekel ausgeübt wird, so hat dieser Reiz einen Schwingungszustand in der Molekel zur Folge, der von ihr vermöge des neu aufgenom-

menen Atoms leichter überwunden wird, als von der ursprünglichen unveränderten Molekel. Wir können in diesem Sinn sogar bei einer einzelnen Molekel von einem einfachsten seelischen Vorgang, wir können, wenn wir wollen, von einer Molekelseele sprechen.

Wird andererseits durch jenen Reiz der Molekel ein oder werden ihr mehrere Atome entrissen, so ist eben die Molekel zerfallen. Die Erfahrung, dass sie früher eine kompliziertere Molekel war, dass sie aber durch einen äusseren Reiz vereinfacht wurde, kann ihr nicht bleiben. Sie verliert im Gegenteil ihre früheren Erfahrungen, wie ein absterbendes komplizierteres Lebewesen seine Erfahrungen verliert.

Man könnte einwenden, der Fall liege bei den einzelnen Molekeln doch ganz anders als bei den „Lebewesen", denn eine Molekel, die neue Atome aufnehme oder Atome umlagere, sei eben in chemischer Beziehung eine ganz andere Molekel geworden; sie repräsentiere eine ganz andere Substanz. Allein ganz dasselbe trifft für alle Lebewesen zu. Durch Aufnahme neuer Atome, durch Umlagerung von solchen werden ihre Substanzen und damit sie selber in chemischer Beziehung verändert. Sogar der Mensch von heute ist niemals der Mensch von gestern. Es ist daher reine Willkür von uns Menschen, wenn wir ein Lebewesen von seiner Geburt bis zum Tode immer als das gleiche Lebewesen bezeichnen.

Atomseele.

Bis in die einzelnen Atome hinein können wir indessen die Uranfänge der seelischen Vorgänge nicht zurückverfolgen, weil ja diese Atome selber es sind, die durch ihre Umlagerungen erst Reize aufnehmen bz. weiterleiten lassen, in demjenigen Sinn, in dem wir früher die Reize definiert haben. Unter solchen Umständen ist es aber unstatthaft, von einer Atomseele zu sprechen.

Physikalische Unterscheidung.

Haben wir in unseren Entwicklungen aus dem bei der Geburt zur Welt gebrachten sympathischen Nervensystem das

davon verschiedene Bewusstseinsnervensystem abgeleitet und haben wir ganz analog zwei gesonderte nervöse Fibrillensysteme in jeder einzelnen Zelle unterschieden, so dürfen wir doch in keinem Fall erwarten, dass die einen oder die anderen der beiden zusammengehörigen Systeme deutlich voneinander getrennt zu unserer objektiven Wahrnehmung gelangen, beispielsweise vermittelst eines Mikroskops. Denn jede Zelle und jede Fibrille des Bewusstseinsnervensystems hat sich unmittelbar oder mittelbar von einer Zelle bz. einer Fibrille des sympathischen Nervensystems abgespalten, und daher wird der Verlauf aller bt. Fibrillen in der Regel ein unmittelbar benachbarter, ein nahezu paralleler sein. Ebenso können wir auch in der einfachen Zelle nicht zwei Polkörperchen, zwei nervöse Zentren auffinden, von denen das eine nur dem ursprünglichen sympathischen, das andere nur dem aus diesem letzteren hervorgegangenen späteren nervösen Fibrillensystem angehörte.

Instinkte.

Die sg. Instinkte, auf die gar viele Handlungen von Tieren zurückgeführt werden wollen, sind unseres Erachtens nicht vererbte komplizierte seelische Vorgänge in dem Sinne, in welchem sie vielfach als solche aufgefasst werden. Die Instinkthandlungen beruhen vielmehr in der Regel auf gewissen ganz einfachen Anpassungen. Es ist kein besonderer, tiefer seelischer Vorgang, wenn ein bestimmtes Insekt gerade diejenigen Blumen aufsucht und ihren Blütenhonig aufsaugt, deren Fortpflanzungsorganen es zur zweckmässigsten Befruchtung verhilft. Vielmehr haben sich Pflanze und Insekt im Kampf ums Dasein durch Selektion einander angepasst. Infolgedessen erzeugt die Pflanze in ihren Blüten diejenigen wohlriechenden Substanzen, die das bt. Insekt besonders anziehen. Es ist auch kein tieferer seelischer Vorgang, wenn Insekten ihre Eier an besonders geschützten Stellen ablegen. Vielmehr werden die Insekten an solchen Stellen durch Lichtreize, Geruchs- oder Geschmacksreize, durch Wärmereize, Berührungsreize oder dergleichen, die von den dort befindlichen Substanzen auf sie ausgeübt werden, dazu veranlasst, gerade dort ihre Eier abzulegen. Aehnlich verhält es sich mit zahllosen anderen, namentlich mit einmaligen oder ersten merkwür-

digen tierischen Verrichtungen, die die Tiere nicht durch Erfahrung gelernt haben können, so mit Begattungen, mit Gespinstanfertigungen, mit Nestbauten. Man liebt es gegenwärtig, einfach alles, was man von komplizierteren tierischen Handlungen nicht begreifen kann, als Instinkt zu bezeichnen. Nach unseren Entwicklungen könnten aber Instinkthandlungen, die ganz ohne Einwirkung der Aussenwelt zu stande kämen, nur auf Reizwirkungen im Innern des bei der Geburt schon mit auf die Welt gebrachten sympathischen Nervensystems zurückgeführt werden.

Trennung des unorganischen und der organischen Reiche.

Nach unseren Entwicklungen über das Seelenleben erscheint eine Trennung des Tierreichs in Menschen, denen eine Seele zukommt, und in Tiere, die seelenlos bleiben, unstatthaft. Wir können sogar nicht einmal die einzelligen Protisten und ebensowenig die Pflanzen ganz von der Allgemeinheit derjenigen Lebewesen ausschliessen, welchen seelische Vorgänge zukommen, welche Erfahrungen machen, infolge ihrer Reizleitungen. Rücken wir sodann näher und näher gegen die Grenze der organischen Reiche, gegen das unorganische Reich hin, so sehen wir, dass sogar in letzterem Reizleitungen zu stande kommen, dass infolge solcher Reizwirkungen Molekeln anorganischer Substanzen verändert werden, dass die veränderten Molekeln, gleichsam wie durch Erfahrung belehrt, nunmehr ihresgleichen durch Assimilation weiter zu erzeugen suchen (I, S. 74). Wir wissen in der That nicht, wohin wir den Trennungsstrich setzen sollten, der das unorganische Reich von den organischen Reichen scheidet. So muss es aber auch sein, wenn von diesen Reichen die letzteren aus dem ersteren entstanden sein, wenn sie aus diesem lückenlos sich ableiten lassen sollen. Wenn wir keine wirklichen Lücken finden können, müssen diese Reiche miteinander zusammenhängen. Die organischen Reiche haben sich dann in Wahrheit aus dem unorganischen entwickelt.

J. *Litteratur.

(AF.) A. Forel, Der Hypnotismus, 3. Aufl. Stuttgart 1895.
(EH_2). E. Haeckel, Die Welträtsel. Bonn 1899.
(OK.) O. Külpe, Grundriss der Psychologie. Leipzig 1893.
(WPr.) W. Preyer, Die Seele des Kindes, 4. Aufl. Leipzig 1895.
(MV_1.) M. Verworn, Die Protisten. Jena 1889.
(WW.) W. Wundt, Grundriss der Psychologie, 3. Aufl. Leipzig 1898.
(WW_1.) W. Wundt, Vorlesungen über die Menschen- und Tierseele, 3. Aufl. Hamburg und Leipzig 1897.
(EZ.) H. E. Ziegler, Theoretisches zur Tierpsychologie und vergleichenden Neurophysiologie, Biolog. Centralblatt **20**, 1, 1900.

Es wächst nicht allein das menschliche Gehirn nach der Geburt weiter, sondern es differenziert sich erst nach der Geburt, indem es erst im zweiten Lebensmonat seine charakteristischen morphologischen Merkmale erhält (WPr. 47). Nach Schillers Ergebnis scheinen aber die Elemente des Zentralnervensystems (bei der Katze) an Zahl nicht, nur an Kaliber zuzunehmen. Es ist daher wahrscheinlich, dass die gleichen Nervenelemente während des ganzen postembryonalen Lebens bestehen bleiben (AF. 16). Die Vorgänge in den Sinnesnerven bestehen wahrscheinlich überall in sehr rasch verlaufenden chemischen Zersetzungen (WW_1. 117). Die schwachen Reize, die durch das normale Mass der Verrichtungen selber gesetzt werden, sind für den Fortbestand des Lebens die zuträglichsten (WW_1. 421). Neuere Untersuchungen (Hodge) haben sichtbare Veränderungen in den Nervenzellen nach intensiver Reizung nachgewiesen (AF. 15).

Die durch äussere Reize in den Sinnesapparaten und im Gehirn ausgelösten Bewegungsvorgänge können als (innere) Reize betrachtet werden (WW_1. 20). Die Reize stehen in causalem Verhältnis zu Nervenerregungen bis zu den zentralen Prozessen, und die äusserlich sichtbaren Körperbewegungen werden erzeugt durch zentrale Innervationen (OK. 11). Im Körper liefert der beständige Stoffwechsel eine Anzahl innerer Reize an den verschiedensten Stellen. Ausserdem liefern namentlich die Bewegungen des Körpers oder einzelner seiner Teile innere Reize, die ausserordentlich leicht, wie es scheint, entsprechende Empfindungen und Gefühle bedingen. Endlich werden auch nervöse

Prozesse zentraler oder peripherischer Art als innere Reize anzusehen sein, sofern sie nicht durch eine äussere Veranlassung unmittelbar entstehen (OK. 82, 83). Besteht ein Reiz in einem Vorgang der Aussenwelt, so nennen wir ihn einen physikalischen, besteht er in einem Vorgang in unserem eigenen Körper, so nennen wir ihn einen physiologischen (WW. 45).

Die Grundbedingung aller geistigen Entwicklung ist die Sinnesthätigkeit (WPr. 3). Jede Sinnesthätigkeit ist vierfach. Zuerst findet eine Nervenerregung statt, dann tritt die Empfindung auf, und erst wenn diese zeitlich und räumlich bestimmt worden, hat man eine Wahrnehmung. Kommt zu der Wahrnehmung die Ursache hinzu, dann wird aus ihr die Vorstellung (WPr. 3). Die psychologischen Vorstellungselemente nennen wir Empfindungen (WW_1. 19). An jeder Empfindung unterscheiden wir wieder zwei Eigenschaften: die eine nennen wir die Stärke oder Intensität, die andere die Qualität der Empfindung (WW_1. 19). Da alle psychischen Erfahrungsinhalte von zusammengesetzter Beschaffenheit sind, so sind psychische Elemente im Sinne absolut einfacher und unzerlegbarer Bestandteile des psychischen Geschehens die Erzeugnisse einer Analyse und Abstraktion, die nur dadurch möglich wird, dass die Elemente thatsächlich in wechselnder Weise miteinander verbunden sind (WW. 33). Gebilde, die entweder ganz oder vorzugsweise aus Empfindungen zusammengesetzt sind, bezeichnen wir als Vorstellungen; solche die vorzugsweise aus Gefühlselementen bestehen, als Gemütsbewegungen (WW. 110). Wir unterscheiden drei Hauptformen von Vorstellungen: intensive, räumliche und zeitliche Vorstellungen (WW. 110). Unter Vorstellungen verstehen wir ebensowohl die Sinneswahrnehmungen, die auf direkter Erregung der Sinnesorgane beruhen, wie die Erinnerungen an solche Sinneswahrnehmungen, wie endlich beliebige Phantasiebilder (WW_1. 18). Eine Vorstellung in diesem allgemeinen Sinne ist aber stets etwas Zusammengesetztes. Ein Gesichtsbild besteht aus räumlich unterscheidbaren Teilen, ein Schall aus Klangbestandteilen, während er ausserdem als irgend woher kommend, also verbunden mit räumlichen Vorstellungen aufgefasst wird (WW_1. 18).

Eine gesetzmässige Beziehung psychischer Vorgänge zu äusserlichen körperlichen Prozessen ist nicht nur zwischen Em-

pfindungen und den sie veranlassenden Reizen vorhanden, sondern auch zwischen Gefühlen und Willensakten einerseits und den durch sie hervorgerufenen Bewegungen der Glieder und Mienen, des Blutes und der Atmung andererseits (OK. 12). Alle psychischen Gebilde sind in psychische Elemente, also in reine Empfindungen und in einfache Gefühle, zerlegbar (WW. 108). Die Elemente des objektiven Erfahrungsinhaltes bezeichnen wir als Empfindungselemente oder schlechthin als Empfindungen. Die subjektiven Elemente bezeichnen wir dagegen als Gefühlselemente oder einfache Gefühle (WW. 34). So unterscheiden wir Empfindungen als Blau, Gelb, Warm, Kalt usf., oder Gefühle als Ernst, Heiter, Traurig, Düster, Wehmüthig usf. (WW. 36).

Der allgemeine Sinn umfasst vier spezifisch voneinander verschiedene Empfindungssysteme: Druckempfindungen, Kälteempfindungen, Wärmeempfindungen und Schmerzempfindungen (WW. 55). Jedem Punkt des Tastorgans wird eine eigentümliche qualitative Färbung der Tastempfindung zugeschrieben, die unabhängig von der Qualität des äusseren Eindrucks ist und die wahrscheinlich von den von Punkt zu Punkt wechselnden und an zwei entfernten Stellen niemals völlig übereinstimmenden Struktureigentümlichkeiten der Haut herrührt. Diese lokale Färbung kann man als das „Lokalzeichen" der Empfindung bezeichnen (WW. 124, 125). Wenn man mit gekreuztem Zeige- und Mittelfinger eine kleine Kugel betastet, so hat man die Vorstellung von zwei Kugeln, offenbar weil in der gewöhnlichen Lage der Tastorgane der äussere Eindruck in der That zwei Kugeln entspricht (WW. 272).

Schon beim Kind erscheint der Gesichtsinn entschieden als der dem Tastsinn vorauseilende Sinn (WW. 339). Man wird nicht umhin können, auch den einzelnen Netzhautelementen gewisse Lokalzeichen beizulegen, das heisst gewisse Eigentümlichkeiten, vermöge deren sie bestimmte räumliche Angaben an sich heften (OK. 386). Wenn infolge von Entzündungsprozessen unter der Netzhaut diese an einzelnen Stellen aus ihrer Lage gedrängt wird, so entstehen Verzerrungen der Bilder. Auch durch prismatische Brillengläser nimmt man verzerrte Bilder der Objekte wahr. Wird dagegen allmählich ein stationärer Zustand erreicht, so verschwinden diese Verzerrungen. Zur Erklärung dieser Erscheinung wird eine neue Zuordnung der

einzelnen Netzhautelemente zu den ihnen entsprechenden Punkten des Sehfeldes angenommen (WW. 141, 142).

Zunächst sind es offenbar die Begrenzungslinien der Gegenstände, aus denen sich ihre Sonderung voneinander und dann wieder die Scheidung des einzelnen Gegenstandes in seine Teile ergiebt. Diese Begrenzungslinien geben unserem fixierenden Auge einen Halt (WW_1. 182). Die Bewegungen des Auges spielen bei der Ausmessung von Strecken im Sehfeld offenbar die nämliche Rolle, wie die Tastbewegungen bei der Ausmessung der Tasteindrücke (WW. 143). Wann ein Kind im stande ist, die Grundfarben Rot, Gelb, Grün, Blau zu unterscheiden, lässt sich schwer bestimmen. Zuerst wird sicherlich nur der Unterschied von Hell und Dunkel empfunden (WPr. 6). Weit später als die in der Unterscheidung der Richtungen des Raumes sich kundgebende Entwicklung des Sehfeldes fällt die des binokularen Sehens (WW. 339). Nach Külpe wird durch das Porträt nicht die Vorstellung seines Originals unmittelbar angeregt, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil beide Bewusstseinsinhalte sich gar nicht nebeneinander entwickeln können. Nicht das Aehnliche erinnert hier an das Aehnliche, sondern es hat den nämlichen Effekt wie dieses, es reproduziert die gleichen Worte, Vorstellungen usf. (OK. 196, 197).

Sorgfältige Versuche haben gezeigt, dass die Unterschiede der Tonhöhen, die bei successiver Empfindung eben noch aufgefasst werden können, innerhalb eines grossen Teils der musikalischen Skala von gleicher absoluter Grösse bleiben, indem bei allen Tönen zwischen 200 und 1000 Schwingungen ein Unterschied von etwa 0,2 Schwingungen noch eben empfunden wird (WW_1. 86). Die Empfindung ändert sich, sofern sie sich nicht der unteren oder oberen Grenze der Leistung unserer Sinne nähert, proportional der absoluten Grösse der Reizänderung. Unsere Auffassung der Empfindungsänderungen ist aber so lange eine bloss relative, als nicht durch die Einführung besonderer Bedingungen die Vergleichung absoluter Empfindungswerte unterstützt wird (WW_1. 92). Nach dem Weberschen Gesetz steht die Zunahme des Reizes, die eine gleich merkliche Zunahme der Empfindung bewirkt, zur ganzen Reizstärke in einem konstanten Verhältnis. Den Nachweis, dass dieses Gesetz für alle Sinnesgebiete gültig sei, hat hauptsächlich Gustav Theodor

Fechner geführt (WW_1. 36, 37). Die Empfindung wächst wie der Logarithmus des Reizes. In dieser mathematischen Form ist das Webersche Gesetz zuerst von Fechner aufgestellt und „psychophysisches Grundgesetz" genannt worden (WW_1. 46).

Wir bewegen uns fortwährend unter einer grossen Zahl äusserer Eindrücke, doch nur wenige derselben werden wahrgenommen. Gleichwohl erregen sicherlich diese Eindrücke sämtlich, sobald sie nicht allzuschwach sind, nicht nur die Sinnesnerven, sondern sie gelangen auch durch diese zum Zentralorgan (WW_1. 60). Schon die mehr oder minder geschützte Lage der Sinnesnerven und ihrer peripherischen Endorgane macht es notwendig, dass Reize von äusserster Schwäche wirkungslos bleiben. Ebenso ist es wahrscheinlich, dass der Reizungsvorgang im Gehirn erst bei einer gewissen Stärke von uns wahrgenommen wird (WW_1. 60). Uebrigens bleiben Lichtschwingungen, die zu langsam oder zu schnell sind, als dass wir sie mit dem Auge wahrnehmen könnten, doch objektives Licht, so gut wie jedes andere (WW_1. 100).

Bei der Langsamkeit, mit der eine Gesichtsempfindung entsteht, und bei der langen Nachwirkung, die der Reiz zurücklässt, darf man vermuten, dass das Licht in der Netzhaut einen chemischen Prozess einleitet (OK. 140). Für das Auge kann leicht in den normalen physiologischen Bedingungen die Veranlassung zu einer Empfindung liegen: schon die chemischen Prozesse beim Ernährungsvorgang können zb. für die Nervenhaut des Auges ein solcher Reiz sein (WW_1. 57).

Zunächst werden sich einzelne Empfindungsfasern, die durch ihre Lage oder sonstige Einflüsse öfters von äusseren Reizen getroffen werden, stärker entwickeln; diese werden unmittelbar auch die Entwicklung der mit ihnen in nächster Verbindung stehenden Bewegungsfasern zur Folge haben (WW_1. 446). Da mit dem Zentralorgan zahlreiche Sinnesorgane in Verbindung stehen, welche verschiedenartige Reize aufnehmen, so werden fortwährend entsprechend den Reizen der Aussenwelt einzelne Bahnen (Neurofibrillen) in Erregung versetzt. Diese Erregung zieht als funktioneller Reiz eine Verstärkung der bt. Bahn nach sich; es werden also einige der vielen feinen Neurofibrillen sich verdicken und auch einzelne Teile der Endbäumchen besonders kräftig werden. Insbesondere wird dies dann der Fall sein, wenn

dieselbe Reizkombination sich häufig wiederholt, also wenn dasselbe Objekt oder dasselbe Ereignis häufig zur Beobachtung kommt (EZ. 12, 13).

Jede Uebung besteht darin, dass eine zuerst willkürlich ausgeführte Handlung allmählich reflektorisch und automatisch wird (WW$_1$. 249). In neuester Zeit ist eine vielfach vertretene Ansicht, dass die nervösen Zentren für Wahrnehmungs- und für Erinnerungsbilder die nämlichen seien (OK. 182). Es ist ein allgemeines Gesetz, dass die Häufigkeit, mit der ein Eindruck erregt wird, seine Reproduzierbarkeit beeinflusst (OK. 179). Ausserdem ist die Entfernung der Eindrücke voneinander im Raum und in der Zeit von wesentlichem Einfluss. Die stärkste Reproduktionstendenz begründet demgemäss ein unmittelbares Neben- bz. Nacheinander (OK. 203). Unter sonst gleichen Umständen bedingt die Verbindung von homogenen Eindrücken eine grössere Reproduktionstendenz, als die Verbindung von disparaten. Sodann ist die Umgebung ein bemerkenswerter Faktor (OK. 203). Weiterhin ist die Art der zeitlichen Folge verbundener Empfindungen von Einfluss auf ihre Reproduktionstendenz (Ebbinghaus) (OK. 203). Es ist natürlich eine Bezeichnung des ganzen Komplexes oder eine selbständige Reproduktionsfähigkeit desselben von grossem Einfluss auf den Zusammenhang und die wechselseitige zentral erregende Wirksamkeit der einzelnen Bestandteile (OK. 203). Die Stärke der in einer Verbindung von Empfindungen liegenden Reproduktionstendenz ist ausser von der Art ihres Zusammenhanges noch abhängig von den Eigenschaften der Empfindungen selbst. Je individueller die Qualität der Verbindungsglieder ist, um so lebhafter pflegt auch die Reproduktionstendenz zu sein, die sie gegeneinander ausüben (OK. 203). Die Grösse der zentral erregenden Wirksamkeit ist abhängig von der Intensität der reproduzierenden Empfindungen, und zwar nicht nur in dem Sinne, dass die stärkeren Empfindungen einer Verbindung auch eine lebhaftere Reproduktionstendenz erwerben, sondern auch in dem Sinne, dass die Intensität und Deutlichkeit der reproduzierten Empfindung von der Intensität und Deutlichkeit der reproduzierenden abhängig ist. Den Ort und die Zeit, wo man stark gefroren oder einen heftigen Schmerz empfunden hat, pflegt man so leicht nicht zu vergessen (OK. 204). Von grösserer Wichtigkeit ist die Dauer und Häufigkeit (der Empfin-

dung). Je länger eine Verbindung von Empfindungen das Bewusstsein beherrscht, um so stärker wird im allgemeinen die Reproduktionstendenz ihrer Glieder, ganz denselben Einfluss hat die Häufigkeit, mit der sich eine Verbindung wiederholt. Ein bedeutendes Gemälde pflegen wir recht lange anzuschauen, damit wir uns seiner auch im einzelnen recht deutlich erinnern, und Gedichte, die wir behalten wollen, pflegen wir durch wiederholtes Lesen und Hersagen (Lernen) uns einzuprägen (OK. 205). Je intensiver eine peripherisch erregte Empfindung ist, um so treuer pflegt die durch sie begründete zentral erregte Empfindung zu sein (OK. 211). Die bei einem Erinnerungsakt neu in das Bewusstsein eintretende Vorstellung ist von der früheren, auf die sie bezogen wird, immer verschieden und ihre Elemente pflegen über verschiedene vorausgegangene Vorstellungen verteilt zu sein (WW. 267). Sehr bekannt ist der Einfluss der Dauer und Häufigkeit auf die Treue der Erinnerung (OK. 211, 212).

Alle Empfindungen lassen Spuren im Gehirn zurück, schwache leicht durch andere zu verwischende, starke länger haftende (WPr. 230. WW_1. 517). Es ist eine bekannte Erfahrung, dass die Erinnerung an ein früheres Erlebnis um so unsicherer und unzutreffender wird, je längere Zeit seitdem verstrichen ist (OK. 214). Im Alter werden die letzten, neuesten Eindrücke am schlechtesten reproduziert werden, während sie im jugendlichen Alter unter sonst gleichen Umständen bevorzugt sind (OK. 222). Der Zerfall der Vorstellungen, ihr Erblassen, ihr Uebergang in verwaschene, formlose Inhalte sind sicherlich kein einfaches Schwächerwerden des nämlichen Eindrucks, vielmehr eine mehr oder weniger tiefgreifende Veränderung des qualitativen Bestandes. Aber auch einfache Qualitäten verlieren in diesem Prozess des Vergessens ihre individuelle Beschaffenheit, feinere Abstufungen werden unerkennbar, Verschmelzung mit ähnlichen Qualitäten tritt ein (OK. 209). Symptome des sinnlichen Wiedererkennens sind von den ersten Lebenstagen an zu beobachten. Aber noch während längerer Zeit erstrecken sich die Associationen nur über sehr kurze Zeitstrecken, zuerst nur über Stunden, dann über Tage; und noch im 3. und 4. Lebensjahr werden Personen nach der Abwesenheit von einigen Wochen entweder vollständig vergessen oder zunächst nur unvollkommen wiedererkannt (WW. 340).

Die niedrigste Verstandesthätigkeit ist das Vergleichen. Weil aber die Empfindungen, welche verglichen werden, nicht alle zugleich sein können, so ist die Erinnerung an die früheren zum Vergleiche notwendig, also das persönliche Gedächtnis (WPr. 230). Mit dem ersten Lichtschein der Erkenntnis, der durch die Pforten der Sinne in uns fiel, haben wir angefangen, die Gegenstände zu vergleichen, über sie nachzudenken (WW_1. 16). Das Unterscheiden und Ordnen der Sinneseindrücke ist eine Verstandesthätigkeit, welche nichts mit Sprechen zu thun hat, und zwar die niedrigste. Das Vermögen zu diesem Vergleichen ist, wie Immanuel Kant entdeckte, beim Menschen vor der Thätigkeit der Sinne da. Es kann sich aber ohne diese nicht geltend machen (WPr. 396). Erfahrungsgemäss besitzen die den Reizen gegenüberzustellenden Aussagen (eines Beobachters) nur in zwei Fällen eine ausreichende Genauigkeit: erstlich bei dem Urteilspaar: gleich — verschieden; zweitens bei dem Urteilspaar: vorhanden — nicht vorhanden (OK. 48). Es sind sehr allgemeine Angaben, die wir mit Hilfe der Unterschiedsempfindlichkeit machen: wir beurteilen zwei Bewusstseinsvorgänge daraufhin, ob sie gleich oder verschieden sind, wir stellen sie damit gewissermassen unter die allgemeinsten Denkgesetze der formalen Logik, das Gesetz der Identität und des Widerspruchs (OK. 33). Es ist klar, dass die zentralerregende Wirksamkeit des Bekannten wesentlich verschieden ist von der des Unbekannten. Während jenes mehr oder weniger rasch die mannigfaltigsten örtlichen, zeitlichen, begrifflichen usf. Vorstellungen anregt, die in mehr oder weniger enger Beziehung zu dem wahrgenommenen oder erinnerten Eindruck stehen, ist das Unbekannte ein isoliertes Gebilde, das erst durch besondere Vergleichungs- und Beziehungsurteile in den Zusammenhang des geistigen Besitzes eingereiht werden kann (OK. 178).

Weder die reproduzierende noch die reproduzierte Empfindung brauchen ihren empirischen Bedingungen zu gleichen, vielmehr wird nur eine Aehnlichkeit im Sinne einer partiellen Gleichartigkeit oder im Sinne einer geringen Verschiedenheit für ihr Verhältnis zu den früheren Empfindungen erfordert (OK. 206). Nicht streng die gleichen Empfindungen, die früher einmal im Bewusstsein verbunden waren, können allein reproduzierend aufeinander wirken, sondern auch ihnen ähnliche (OK. 207). Je

weniger aber eine peripherisch erregte Empfindung anderen schon erlebten ähnlich ist, um so mehr pflegt ihre Reproduktion ihr selbst ähnlich zu bleiben (OK. 211). Viele Kinder halten die Lokomotive für müde, wenn sie stille steht, für durstig, wenn ihr Kessel mit Wasser gefüllt wird, für einen Ofen, wenn sie geheizt wird. Manche fürchten sich vor jeder nahen Dampfmaschine, solange sie geräuschvoll arbeitet, ohne sie zu kennen (WPr. 40). Farben werden rascher erkannt als Töne, Druckreize rascher als Geschmacksqualitäten, hohe Töne schneller als tiefe, Schwarz eher als Weiss (OK. 432). Jeder, der einmal Erkennungsreaktionen ausgeführt hat, wird wissen, dass man ganz sicher sein kann, das Gesehene oder Gehörte erkannt zu haben, während noch der es bezeichnende Name in keiner Form über die Schwelle getreten ist (OK. 433).

Association ist eine Verbindung zwischen Empfindungen oder Vorstellungen der Art, dass das Auftreten eines Gliedes dieser Verbindung auch die Erneuerung des anderen zur Folge hat (OK. 183). Wenn mich im dunkeln Zimmer der Duft einer Rose an ein entsprechendes Objekt der Gesichtswahrnehmung erinnert, also etwa das Bild einer früher gesehenen Rose hervorruft, so unterliegt es keinem Zweifel, dass nur die Erfahrung eine derartige Reproduktion hat bewirken können. Ich muss früher einmal beides im Bewusstsein gehabt haben, den charakteristischen Duft und die optische Vorstellung der Blüte (OK. 200). Empfindungen, die einmal im Bewusstsein zusammen waren, begründen eine Tendenz zur Reproduktion in dem Sinne, dass, wenn die eine von ihnen wieder erregt wird, auch eine der anderen ähnliche zu entstehen pflegt (OK. 202). Die von selbst eintretende Reproduktion eines der Glieder des Associationsverbandes ist das deutliche Merkmal einer Association. Auf dieses Merkmal gestützt lehrt die Beobachtung, dass Associationen zwischen bestimmten Empfindungen um so fester werden, je häufiger sich die Verbindungen wiederholen (WW_1. 149). Zwei völlig verschiedene Schalleindrücke, die keine Bestandteile gemein haben, aber häufig verbunden gewesen sind, bilden eine Association verschiedener Empfindungen. Steht nun eine Empfindung mit mehreren anderen Empfindungen, von denen ihr die eine verwandter ist als die übrigen, in Association, so gewinnt, sonst gleiche Bedingungen vorausgesetzt, die Association des

Verwandten insofern einen Vorzug vor den übrigen, als sie leichter einzutreten pflegt (WW$_1$. 150). Wichtige Formen von Associationen sind die Verbindungen, die eine durch einen äusseren Eindruck erweckte Sinneswahrnehmung mit Erinnerungsbildern, die ihr ähnlich sind, eingeht (WW$_1$. 328). Bezüglich der Associationen bei den Verbindungen, welche die Wahrnehmungen verschiedener Sinne miteinander eingehen, sehen wir ein musikalisches Instrument, und hören den Klang, den es erzeugt. Wir nehmen mit den Augen die weisse kristallinische Beschaffenheit des Stücks Zucker wahr und gleichzeitig mit der Zunge die süsse Geschmacksqualität. Auf solche Weise werden die Empfindungen und Wahrnehmungen verschiedener Sinne so innig aufeinander bezogen, dass sie in späteren Fällen auch dann sich ergänzen, wenn nur der eine Sinneseindruck direkt gegeben, oder, wenn nur in einem Sinnesgebiet ein Erinnerungsbild des Eindrucks erweckt wird; wir hören das Klavier und bemerken zugleich, dass in unserem Bewusstsein das undeutliche Gesichtsbild des Instruments auftaucht; wir schmecken den Zucker etwa im Dunkeln, aber es verbindet sich damit von selbst das blasse Erinnerungsbild seiner optischen Beschaffenheit (WW$_1$. 326, 327).

Schon Max Schultze hat gesehen, dass in der Ganglienzelle ein System von Fasern sich befindet, welche von einem Fortsatz zum anderen gehen und welche er Primitivfibrillen nannte. Flemming beobachtete, dass in der Ganglienzelle an den Abgangsstellen der Neuriten und der Dendriten Fasern ausstrahlen, welche im Innern der Zelle in ein fadiges Netzwerk übergehen. Durch Nissl, Apáthy und Bethe ist gezeigt worden, dass innerhalb der einzelnen Ganglienzelle Bahnen bestehen, welche von einem Fortsatz zum anderen gehen. Solche Bahnen können als Associationsbahnen aufgefasst werden (EZ. 9, 10).

Gerade beim Menschen scheinen, im Unterschiede von vielen Tieren, die räumlichen Wahrnehmungen zunächst noch äusserst unvollkommen zu sein. Erst allmählich entwickeln sich aus den ursprünglich ziellosen Bewegungen der Hände deutliche Greifbewegungen (WW. 338). Alle räumlichen Vorstellungen bieten sich uns als Formen der Ordnung zweier Sinnesqualitäten dar, der Tastempfindungen und der Lichtempfindungen, von denen

aus dann erst sekundär, durch die Verbindung mit Tast- oder Gesichtsvorstellungen, die Beziehung auf den Raum auch auf andere Empfindungen übertragen werden kann (WW. 123). Da die einzelnen Teile des eigenen Körpers im allgemeinen eine konstante Orientierung gegeneinander besitzen, so wird ihre Lagebestimmung zu einer sicheren Richtschnur für die Angabe jener Richtungen im Raum. Damit ist auch im wesentlichen das viel erörterte Problem der Umkehrung des Netzhautbildes erledigt (OK. 374). John Stuart Mill sagt, dass ein Blindgeborener, der plötzlich das Sehvermögen erhält, anfangs keine Vorstellung von drinnen und draussen habe und nur der Farben, nicht der Gegenstände sich bewusst sein werde. Erst nachdem er durch seinen Tastsinn mit den letzteren bekannt geworden sei, und Zeit gefunden habe, die Objekte mit den Farben zu verknüpfen, würde er beginnen, Körper zu sehen (WPr. 36). Nach partiellen Zerstörungen der Bogengänge hat man konstante Orientierungstäuschungen und nach vollständiger Zerstörung derselben eine fast vollständige Aufhebung der Orientierungsfähigkeit beobachtet (WW. 135). — Nach der Analogie der Lokalzeichen werden besondere Zeitzeichen angenommen, die aber zu einem wesentlichen Teile Gefühlselemente sind (WW. 185, 186).

Ehe das Kind im stande ist, seine ihm selbst fühlbaren und sichtbaren Körperteile als ihm gehörig zu erkennen, muss es eine grosse Anzahl von Erfahrungen gemacht haben, welche meistens mit schmerzhaften Gefühlen verbunden sind (WPr. 381). Der Schmerz ist die zu ihrem intensivsten Grade gesteigerte Erregung (WW_1. 232). Schmerz pflegt überall zu entstehen, wo die Reizung eines sensiblen Nerven einen gewissen Grad übersteigt. Das Spezifische an ihm ist, wie es scheint, nicht die ihm nie fehlende Empfindungsqualität, sei dieselbe nun grosse Wärme oder starker Druck oder ein kreischender Ton oder ein blendendes Licht, sondern die Unlust, als deren höchster Grad er gilt (OK. 93).

Vom Ende des ersten Lebensmonats an werden nicht bloss Unlust-, sondern auch Lustsymptome, Lachen, lebhafte rhythmische Bewegungen der Arme und Beine, nach bestimmten Sinneseindrücken beobachtet (WW. 337). Sobald wir einen Eindruck mehr und mehr steigern, so geht allmählich das anfänglich

vorhandene Lustgefühl in ein Unlustgefühl über (WW_1. 421; OK. 248). Bei gewissen schwachen Empfindungen des Geschmack- und Geruchsinns wächst zunächst mit Verstärkung der Intensität das Lustgefühl bis zu einem Maximum, sinkt bei einer bestimmten mittleren Stärke auf Null, um dann bei weiterer Empfindungszunahme in ein Unlustgefühl überzugehen, welches bis zu dem Empfindungsmaximum zunimmt (WW. 96). Das Gemeingefühl ist die Quelle der Unterscheidung der Gefühlsgegensätze der Lust und Unlust (WW. 193).

Die einfachen Gefühle sind viel mannigfaltiger und zahlreicher als die einfachen Empfindungen (WW. 41). An der Mannigfaltigkeit der Gefühle sind drei verschiedene Hauptrichtungen zu unterscheiden: die Richtungen der Lust und Unlust, der erregenden und beruhigenden, der spannenden und lösenden Gefühle (WW. 98). Unter diesen Hauptrichtungen der Gefühle sind es besonders die der Lust und Unlust, für die eine regelmässige Beziehung zu den Pulsbewegungen nachgewiesen ist. Sie besteht in einer Verlangsamung und Verstärkung des Pulses bei Lust-, in einer Beschleunigung und Schwächung desselben bei Unlustgefühlen (WW. 104). Offenbar hat schon der eben geborene Mensch Gefühle (WW_1. 444).

Jede Empfindung hat, wenn sie von genügender Stärke ist und keine hemmenden Einwirkungen vorhanden sind, eine Muskelbewegung zur Folge (WW_1. 127). Das Kind reagiert sofort nach der Geburt auf Sinnesreize jeder Art, am deutlichsten auf Tast- und Geschmackseindrücke, am unsichersten auf Schallerregungen. Doch ist es zweifellos, dass hierbei die besonderen Formen der Reaktionsbewegung auf vererbten Reflexmechanismen beruhen (WW. 336). Wahrscheinlich ist der Begriff der Nahrung der erste, welchen der Säugling bildet (WPr. 291).

Es kann kein Zweifel bestehen, dass schon vor der Geburt die beiden Bahnen von den Gefühlsnerven der Zunge zum Ursprung des Bewegungsnerven der Zunge und von da in dessen Enden in der Zunge ausgebildet und gangbar sind (WPr. 66). Ist die Anzahl der Erinnerungsbilder von den deutlichen Empfindungen einerseits, von den mit ihnen verbunden gewesenen Bewegungen andererseits — wie bei „süss“ und „saugen“ — grösser geworden, dann tritt eine festere Association von Empfindungs- und Bewegungserinnerungen, von Erregungen sen-

sorischer und motorischer Fasern mit ihren Ganglienzellen, ein, so dass einseitige Erregung der einen die anderen miterregt. Saugen erweckt die Erinnerung an den süssen Geschmack, der süsse Geschmack für sich bewirkt Saugen (WPr. 393). Dieses Nacheinander ist schon eine zeitliche Sonderung zweier Empfindungen (des Süssen und der Bewegungsempfindung beim Saugen). Die räumliche Sonderung erfordert die Erinnerung an zwei Empfindungen mit je einer Bewegung; das Saugen an der linken und rechten Brust wird nach einer Probe beiderseits unterschieden. Hiermit ist die erste That des Verstandes gethan, die erste Wahrnehmung gemacht, nämlich eine Empfindung primitiv zeitlich und räumlich bestimmt (WPr. 394).

Ein unangenehmer, ebenso wie ein angenehmer Eindruck wird uns bei längerer Einwirkung häufig gleichgiltig (OK. 249). Die Indifferenz des Gefühls darf als eine wohl beglaubigte Thatsache angesehen werden. Damit ist zugleich behauptet, dass es Empfindungen gebe, die nicht lust- oder unlustbetont sind, und auch diese Behauptung wird man mit Rücksicht auf die alltägliche Beobachtung gleichgiltiger Vorstellungen und Handlungen kaum bestreiten (OK. 249). Die dies- und jenseits der neutralen Indifferenzzone gelegenen einfachen Gefühle zeigen einen entschieden gegensätzlichen Charakter, indem die einen im allgemeinen den Lust-, die anderen den Unlustgefühlen zugezählt werden können (WW. 96). Man darf den Begriff der Schwelle anwenden, indem man die eben merkliche Abweichung von der Indifferenz als die Lust- bz. Unlustschwelle bestimmt (OK. 250).

Die Accommodation ist vollkommen, lange bevor die Distanzenwahrnehmung beginnt (WPr. 35). Das einzelne Auge wendet sich meist schon von Anfang an einem Lichte zu, aber die Bewegungen beider Augen sind noch unregelmässig, und erst im Laufe der drei ersten Monate stellt sich allmählich die normale Koordination der Bewegungen mit gemeinsamem Fixationspunkt beider Augen ein (WW. 337). Manche Kinder können noch ehe sie sprechen die Rhythmen gehörter Melodien in Lauten und Betonungen richtig wiedergeben. Dagegen bleiben die Vorstellungen grösserer Zeiten bis über die ersten Lebensjahre hinaus äusserst unvollkommen (WW. 340). Unselbständige Menschen ahmen leichter und korrekter nach, als selbständige

(WPr. 191). Schon das Nachsprechen eines einzigen Lautes, und sei es nur a, kann nicht ohne Vermittlung der Grosshirnrinde zu stande kommen. Also liegt schon im ersten Versuch, etwas Gehörtes zu wiederholen, ein sehr grosser Fortschritt der Gehirnentwicklung (WPr. 289).

Ursilben, welche keine Artikulationsschwierigkeiten bieten, sind für das Kind zb. pa, ma, atta, papa, mama. Die Erzieher benutzen diese Silben erst für gewisse Vorstellungen, indem sie einen Sinn hineinlegen (WPr. 297). Der Erwachsene bildet die unwillkürlichen Artikulationslaute des Kindes nach, denen er zugleich eine bestimmte Bedeutung beilegt, wie zb. „Pa-pa“ für Vater, „Ma-ma“ für Mutter, „da“ für alle möglichen Wörter von hinweisender Bedeutung (hier, dieser, nimm usf.) (WW. 346). Je öfter der Säugling die Vorstellung „Nahrung“ (etwas was das Hungergefühl vertreibt) und zugleich den Schalleindruck „Milch“ erlebt, um so mehr wird letzterer mit ersterer associiert und in Anbetracht der grossen Vorteile, die er bietet, weil er von allen verstanden wird, schliesslich mit vollem Bewusstsein reproduziert und adoptiert. So lernt das Kind die ersten Wörter (WPr. 297). Anfangs bezeichnet ein Wort einen Satz, bald aber mehrere sehr verschiedene Sätze (WPr. 302). Ein bedeutender Fortschritt besteht in dem erwachten Verständnis gesprochener Worte, zb. „Wie gross ist das Kind“, „Wo ist der Ring“, „Gieb“, „Bitte, bitte“, „Wo ist das Trotzköpfchen“ usf. Dabei wird die Verbindung gehörter Laute oder Wörter mit bestimmten Bewegungen hergestellt. Jedoch ist diese Verbindung noch nicht fest. Das Kind kann die richtige Bedeutung vergessen und die ihm beigebrachten Kunststücke miteinander verwechseln (WPr. 317, 318). Einen grossen Fortschritt bezeichnet aber die Vereinigung zweier Wörter zu einem Satz (WPr. 336). Der zu umfangreiche, zu unbestimmte Begriff „atta“ (für weg, fort, aus, leer, fertig) ist später in engere und bestimmtere zerfallen. Er hat sich gleichsam differenziert, wie im Embryo die einzelnen Gewebe aus dem vorher scheinbar gleichartigen Gewebe sich differenzieren (WPr. 342). In der Zeit rapider Entwicklung überrascht das Kind täglich aufs neue durch seine eigenmächtigen Anwendungen eben gehörter Wörter, wenn auch viele nicht richtig angewendet werden (WPr. 343). Es folgt allmählich das Verständnis für Präpositionen und ihr

richtiger Gebrauch (WPr. 345), die Anwendung des persönlichen Fürworts statt des Eigennamens (WPr. 347). Das Kind fängt seine neun Kegel zu zählen an, indem es, sie einzeln ergreifend und nacheinander zusammenstellend, bei jedem sagt: eins! eins! eins! eins! hierauf: eins! noch eins! noch eins! noch eins! noch eins! (WPr. 348). Für die Zeitbestimmung bediente sich das Kind (Preyers) des sonderbaren Ausdrucks „heitgestern“ statt „heute“ und statt „gestern“. Letztere beiden, einzeln genommen, wurden lange miteinander verwechselt (WPr. 351). Später aber differenziert sich jene allgemeinere Zeitbestimmung heitgestern in heute und in gestern. Das Kind verwechselt anfangs auch „zuviel“ mit „zuwenig“, „nie“ mit „immer“ (WPr. 353). Wie wenig klar die Begriffe Tier und Maschine sind, geht daraus hervor, dass beide in gleicher Weise angeredet werden (WPr. 352). Die Ichheit tritt mit der Zeit bedeutend schärfer hervor. Das Kind ruft: „Das Ding haben! das will ich, das will ich, das will ich, das Spiel möcht ich haben!“ (WPr. 353). Aber auch „ich“ und „du“ werden anfangs noch verwechselt (WPr. 353). Erst im dritten Jahre wird zum erstenmal „warum?“ gefragt. „Warum nach Hause gehen?“ „Warum wird das Holz geschnitten?“ Auch: „Was macht nur so?“ wenn am Wagen ein Rad knarrt (WPr. 353). Ein und derselbe Ausdruck „hänging“ bedeutet zuerst „Häring“ und „Goldfisch“ (WPr. 364). Erst später bilden sich die einzelnen Begriffe richtig aus. Bei den Wortvorstellungen ist in der Regel eine doppelte Verbindung vorhanden: der akustische Eindruck ist zunächst mit der die Bewegung begleitenden Muskelempfindung und dann ausserdem wenigstens in vielen Fällen mit dem Schriftbild des Wortes verbunden (WW_1. 327).

Bewusstsein begleitet lediglich gewisse Erregungen des Grosshirns (AF. 120). Unterscheiden wie Beobachten sind Vorgänge, die das Bewusstsein voraussetzen und eben darum nicht das Wesen desselben ausmachen können (WW_1. 262). Neue (ungewohnte) oder früher bereits stark aufgetretene Reize werden uns am ehesten bewusst (AF. 121). Der Begriff des Bewusstseins hat keine andere Bedeutung als die, dass er auf den Zusammenhang der gleichzeitigen und aufeinander folgenden seelischen Vorgänge hinweist; und das Problem des Bewusstseins besteht darin, nachzuweisen, in welche Beziehungen die

einzelnen Erscheinungen zueinander treten, um in diesen Verbindungen und Beziehungen das Ganze unseres seelischen Lebens zu bilden (WW_1. 263).

Der Schmerz bringt das Kind zur Erkenntnis seiner selbst. Es giebt keine Art von Erregungen des Sensoriums, welche mit so viel Bewusstsein verbunden wäre, wie eine bis zum Schmerz gesteigerte Nervenerregung (WPr. 381). Bewusstsein ist nun noch lange nicht Selbstbewusstsein, welches an eine Zentralisierung peripherer Nervenerregungen geknüpft ist. Bewusstsein ist notwendige Vorbedingung des Selbstbewusstseins, Ichgefühls und Ichbegriffs, also der Schmerz eines mit zentralisiertem Nervensystem versehenen Wesens erst recht für das Zustandekommen seines „Ichgefühls" günstig, wenn nicht notwendig (WPr. 381). Das Kind (Preyers) biss sich noch am Anfang des zweiten Jahres so stark in den Oberarm, dass es unmittelbar darauf vor Schmerz aufschrie. Man sah die Spur der Schneidezähne noch lange nachher (WPr. 381). Später biss sich das Kind noch in den Finger (WPr. 382). Der Schmerz ist der mächtigste Lehrmeister beim Erlernen des Unterschiedes von Subjektiv und Objektiv (WPr. 383). Wahrscheinlich beginnen die Spuren des Selbstbewusstseins schon in den ersten Lebenswochen (WW. 342). Die Entwicklung des Selbstbewusstseins ist häufig geschildert und mit Recht in eine enge Beziehung zu der des Willens gesetzt worden. Ausserdem aber bildet seine sinnliche Grundlage die optische oder taktile Abgrenzung des eigenen Körpers gegen die äussere Welt, die sich mit der allmählich eintretenden Sonderung von Gegenständen im Raum einstellt. Alles was dann mit diesem Bilde des eigenen Körpers in Verbindung gebracht wird, als dessen Eigenschaft oder Thätigkeit usf. gilt, pflegt zugleich dem Ich als Funktion oder als Eigenschaft zugeschrieben zu werden (OK. 465). Es ist die Unterscheidung der wechselseitigen Berührung zweier Hautstellen des eigenen Körpers von der einer Hautstelle und eines fremden Gegenstandes ein grosser Schritt auf dem Wege zur Erkenntnis des Ich (WPr. 72).

Ein höchst bedeutungsvoller Tag in dem Leben des Säuglings ist der, an dem er zuerst den Zusammenhang einer von ihm selbst ausgeführten Bewegung mit einem auf dieselbe folgenden Sinneseindruck erfährt, wie zb. das Geräusch, welches beim

Zerreissen und Zerknittern von Papier entsteht (WPr. 383). Das Gefühl, selber Ursache solcher Veränderungen zu sein, ist ein wichtiger Faktor für die Entwicklung des Ichgefühls (WPr. 383). Das anfangs nur spielende, an der Farbe, Form und Bewegung sich ergötzende Kind ist zum Ursachwesen geworden. Damit tritt die Entwicklung des Ichgefühls in eine neue Phase. Sie ist aber noch nicht vollendet. Stolz und Eitelkeit und Ehrgeiz treten zur weiteren Ausbildung hinzu. Vor allem ist es die Aufmerksamkeit auf die von allen Gegenständen dem kindlichen Auge am nächsten liegenden eigenen Körperteile und Kleidungsstücke, welche die begriffliche Trennung des kindlichen Körpers von allen anderen Gegenständen fördert (WPr. 384). Bei den noch unvollkommenen Greifbewegungen wird teils der Gegenstand, teils die eigene Hand fixiert, besonders wenn dieselbe einmal richtig gegriffen hat. Die aufmerksame Betrachtung der Finger beim Greifen ist täglich zu beobachten (WPr. 384).

Durch Abstraktionen kommt das Kind zur Bildung des Ichbegriffs (WPr. 385). Zur Ausbildung des kindlichen Ich wirken das Betrachten des Spiegelbildes (WPr. 385), die Entdeckung des eigenen Schattens mit (WPr. 388). Wichtiger hierfür ist noch das Sprechenlernen (WPr. 388). Erst durch sehr häufiges Zusammenvorkommen disparater Sinneseindrücke beim Schmecken-Berühren, beim Sehen-Tasten, Sehen-Hören, Sehen-Riechen, Schmecken-Riechen, Hören-Berühren bilden sich die interzentralen Verbindungsfasern aus, und dann erst können die verschiedenen Vorstellungszentren, gleichsam Ichbildner, wie bei der gewöhnlichen Begriffbildung, zu der Bildung des einheitlichen Ich, welches ganz abstrakt ist, führen (WPr. 391). Das Gefühl des Zusammenhangs aller individuellen psychischen Erlebnisse bezeichnen wir als das Ich. Es ist ein Gefühl, nicht eine Vorstellung (WW. 262). Der Begriff des Ich ist für sich allein genommen vollkommen inhaltsleer, wie er denn auch thatsächlich niemals getrennt von den besonderen Bestimmungen, die seinen Inhalt ausmachen, in unserer inneren Wahrnehmung vorkommen kann. Psychologisch betrachtet ist daher das Ich keine Vorstellung neben anderen, ja nicht einmal eine Nebenbestimmung, die etwa allen unseren Vorstellungen oder einer grösseren Anzahl derselben gemeinsam zukäme, sondern einzig

und allein die unsere psychischen Erlebnisse begleitende Wahrnehmung ihres Zusammenhangs (WW_1. 276). Wo die praktische Lebensanschauung mit ihrer naiven Sinnlichkeit die Herrschaft führt, da tritt der eigene Körper als unveränderlicher Bestandteil des Ich wieder in seine Rechte ein (WW_1. 277).

Zum Wachsein sind Reize, Erregungen von sensorischen Nerven, erforderlich. Sind nun, wie vor der Geburt, wenige Reize vorhanden, dann wird das Gegenteil des Wachseins, der Schlaf, anhaltend und fest sein (WPr. 104). Forel hat einige sehr merkwürdige Beispiele von spontanen, sofort nach dem Erwachen aufgeschriebenen Träumen zusammengestellt (AF. 54—58). Wir sehen fast alle Traumbilder, auch Gesichtsbilder, unvermittelt oder nur halbvermittelt und sinnlos einander ablösen. Meine Schwester kann sich im Traum in einen Mann, dann in einen Tisch verwandeln usf. (AF. 58). Die Traumerscheinungen selbst machen es wahrscheinlich, dass der Eintritt dieses den Schlaf mehr oder minder störenden Zustandes durch eine gesteigerte Reizbarkeit der Sinneszentren des Gehirns oder einzelner Teile derselben veranlasst wird, die ihrerseits vielleicht wieder aus der während des Schlafes gestörten Blutzirkulation dieses Organs entspringt (WW_1. 367). Die nüchterne moderne Forschung hat die Entstehung der Träume auf äussere oder innere Reize zurückgeführt, die bestimmte Sinneszentren in eine höhere Erregung versetzen. Was solchen Reizen nicht unmittelbar zugänglich ist, bleibt gehemmt. Daraus wird man es sich vornehmlich zu erklären haben, dass die Verbindung und Deutung der Traumvorstellung eine vom wachen Bewusstseinsleben so sehr abweichende ist. Es fehlt die Leitung und Regelung des Willens, und daher besitzen die inneren so gut wie die äusseren Thätigkeiten der Träumenden, wie zb. das Nachtwandeln, den Charakter zufällig herbeigeführter Reproduktionen (OK. 468). Als die gewöhnlichsten Ursachen sehr lebhafter Träume erweisen sich Indigestionen, Herzbeklemmungen, Atmungsbeschwerden und ähnliche körperliche Zustände (WW_1. 367). Heyfelder meint, wenn die Kinder im Einschlafen aufschreien und sich von einem Hunde gebissen glauben, so veranlasse ein plötzlicher Ruck am Bein oder Arm ein Gefühl, aus dem die Phantasie das Tier konstruiere (WPr. 111). Wie in unserer Erinnerungswelt überhaupt, so spielen auch in der Traumwelt die

Gesichtsvorstellungen die vorwiegende Rolle (WW_1. 368). Es könnte sein, dass das Uebergewicht des Gesichtsinns in der Traumwelt nicht bloss in der Bedeutung, die jener Sinn in unserer Erinnerung spielt, sondern auch darin seinen Grund hat, dass sich das Auge mehr als andere Sinnesorgane unter der fortwährenden Einwirkung schwacher äusserer Reize befindet. Beobachtet man im Finsteren bei geschlossenem Auge das eigene Gesichtsfeld, so bemerkt man ein unaufhörliches Wogen von Lichterscheinungen: bald schiessen einzelne Lichtpunkte gleich Meteoren herüber und hinüber, bald senken sich lichte Schleier über den dunkeln Raum, bald endlich erheben sich in diesem glänzende Farben. Sicherlich dauern diese Erscheinungen auch noch im Schlafe fort, wo sie nun die ihnen homogenen und dem Bewusstsein leicht verfügbaren Erinnerungsbilder erwecken können (WW_1. 368).

Mit der Entwicklung des Selbstbewusstseins hängt die des Willens nahe zusammen (WW. 342, 343). Wollen ist möglich nur nachdem Wahrnehmungen gemacht worden sind (WPr. 125). Gewollte Handlungen können erst dann zu stande kommen, wenn die Entwicklung der Sinne weit fortgeschritten ist, wenn deutlich wahrgenommen wird. Ausserdem muss noch die Ursache der Wahrnehmung erkannt sein, wodurch die letztere zur Vorstellung aufrückt. Ohne Vorstellungsvermögen giebt es kein Wollen, ohne Sinnesthätigkeit kein Vorstellen, also ist der Wille an die Sinne untrennbar gebunden. Er schwindet, wenn die letzteren erlöschen; er fehlt dem fest Schlafenden (WPr. 218, 219). Wir reden von einem Wollen in der Regel nur da, wo wir wenigstens das Bewusstsein von dem Erfolge seiner Thätigkeit voraussetzen dürfen. Durch diese letztere Bestimmung unterscheiden wir in erster Linie die Willenshandlung von der automatischen oder reflektorischen Bewegung (OK. 462). Die Willenshandlung definieren wir als diejenige äussere oder innere Thätigkeit, die bedingt und getragen ist durch die bewusste Vorstellung ihres Erfolges (OK. 463).

Die in unserer subjektiven Auffassung des Willensvorgangs die Handlung unmittelbar vorbereitenden Vorstellungs- und Gefühlsverbindungen pflegt man die Motive des Willens zu nennen (WW. 220). Von einem Motiv bestimmte Willensvorgänge können wir einfache Willensvorgänge nennen. Die Bewegungen,

in denen sie endigen, werden häufig auch als Triebhandlungen bezeichnet (WW. 221, 222). Da die Motive für das Eintreten einer Willensthätigkeit sehr mannigfaltiger Natur sein können und auch jeder anderen inneren oder äusseren Veränderung bewusste oder unbewusste Motive vorauszugehen pflegen, so bleibt uns als einzig charakteristisch für den Willen das Bewusstsein von dem Erfolge, dem Ziele oder Zwecke seiner Thätigkeit übrig (OK. 463). Das Wollen besteht stets aus einem bestimmten Verlaufe von Gefühlen, Empfindungen und Vorstellungen (WW_1. 145). Lust und Unlust, diese Grundformen des qualitativen Gefühlsinhalts, sind Willensrichtungen (WW_1. 243). Das Ich selbst ist keine Vorstellung, wie es oft fälschlich genannt wird, sondern eben dieser an das Wollen gebundene Komplex von Gefühlen, der sich zugleich in wechselnder Weise mit gewissen Empfindungen, namentlich Muskelempfindungen, zu verbinden pflegt (WW_1. 254). Als die dauernde Bedingung aller einzelnen Willenshandlungen eines Bewusstseins erscheint uns dieses bei den verschiedenen Willensvorgängen relativ konstant bleibende „wollende Ich" — ein Ausdruck, mit dem nichts anderes gesagt ist als eben dies, dass die verschiedenen Willensvorgänge eines einzelnen Bewusstseins miteinander zusammenhängen (WW_1. 254). Motiv und Wille gehören ebenso zusammen, wie Wille und thätiges Subjekt (WW_1. 255). In Wahrheit ist es nichts anderes als die Einheit des Wollens, die wir unser Ich nennen (WW_1. 258). Intellektuell wird die psychische Thätigkeit erst dann, wenn die aus der Gesamtarbeit der früheren Erlebnisse resultierende Totalkraft, der Wille, die sich darbietenden Associationen beherrscht und in fest bestimmten Richtungen verarbeitet (WW_1. 364).

Zusammengesetzte Willenshandlungen bezeichnen wir als Willkürhandlungen (WW. 223). Sobald ein Kampf einander widerstreitender Motive deutlich wahrnehmbar der Handlung vorausgeht, nennen wir die Willkürhandlung auch speziell eine Wahlhandlung und den ihr vorangehenden Prozess einen Wahlvorgang (WW. 223). Die Ueberlegung ist, psychologisch betrachtet, nichts anderes als eine mehr oder weniger verwickelte associativ begründete Reihe von Reproduktionen, die vielleicht durch Ausschaltung vermittelnder Glieder einen abgekürzten Verlauf nehmen (OK. 462, 463). Wie bei den äusseren Willenshandlungen schliesslich nur noch in gewissen entscheidenden

Momenten ein Hereingreifen willkürlicher Entscheidung notwendig wird, während die Ausführung im einzelnen einem eingeübten Mechanismus überlassen bleibt, so zieht sich bei den intellektuellen Prozessen die aktive Gedankenarbeit mehr und mehr auf die wesentlichen Momente des Gedankenverlaufs zurück, während unser Denken über alle untergeordneten Punkte mit Hülfe logischer Associationen hinweggleitet (WW_1. 356). Sobald sich zusammengesetzte Willensvorgänge von übereinstimmendem Motivinhalt häufiger wiederholen, erleichtert sich der Kampf der Motive: Die zusammengesetzte geht dann in eine einfache oder Triebhandlung und die Triebbewegung schliesslich in eine automatische Bewegung über. Der Willensvorgang selbst wird zu einem Reflexvorgang (WW. 228, 229).

„Der Wille ist unfrei," sagt der Determinist, „denn ein freier Wille würde den ursächlichen Zusammenhang der Welt aufheben" (WW_1. 486). „Der Wille ist frei," erwidert der Indeterminist, „denn so sagt es uns das unmittelbare Bewusstsein" (WW_1. 486). Wenn es zuweilen einmal vorkommt, dass plötzlich und scheinbar unvermittelt eine Erinnerung in uns auftaucht, so lässt doch auch in solchen Fällen eine aufmerksame Selbstbeobachtung meist verborgene Fäden entdecken, durch die jene mit dem gegenwärtigen Zustand zusammenhängt, so dass die Annahme gestattet ist, auch da, wo nachträglich solche Verbindungen nicht aufzufinden sind, seien sie gleichwohl vorhanden gewesen und nur infolge der ungünstigen Bedingungen der Beobachtung uns entgangen (WW_1. 323).

Die Gesamtheit der mit der klaren Erfassung von Vorstellungen verbundenen subjektiven Vorgänge bezeichnen wir als Aufmerksamkeit. Drei Merkmale sind somit für diese kennzeichnend: die Erhebung von Vorstellungen zu grösserer Klarheit; Muskelempfindungen, die meist zu dem bt. Vorstellungsgebiet gehören; Gefühle, die regelmässig die Erhebung der Vorstellungen teils begleiten, teils ihr vorausgehen (WW_1. 274, 275). Wundt hat gezeigt, dass Wille und Aufmerksamkeit im engsten Zusammenhang stehen (OK. 219). Die Aufmerksamkeit erhöht, wie wir kurz sagen können, die Associabilität und Reproduzierbarkeit der Empfindungen (OK. 215). Es ist eine allgemeine Thatsache, dass wir bestimmte Verhältnisse, Unterschiede, Eigenschaften am sichersten und leichtesten erkennen und beurteilen,

wo sie die einzigen Objekte der Beobachtung sind. So wird auch ein Intensitätsunterschied bei gleichzeitiger Differenz der Qualitäten nur schwer erkannt. Ob darin eine unvermeidliche Ablenkung der Aufmerksamkeit oder eine blosse Hemmung der Reproduktion zu erblicken ist, müssen wir dahingestellt sein lassen (OK. 401). Die Aufmerksamkeit ist im wachen Bewusstsein regelmässig vorhanden und wirksam, sie ist, wie man sich ausgedrückt hat, das Oberbewusstsein, in welches nur verhältnismässig wenige der im Unterbewusstsein sich abspielenden Prozesse Eingang erhalten (OK. 452). Je mehr ein Sichtbares oder Hörbares isoliert ist, um so leichter zieht es die Aufmerksamkeit auf sich (OK. 454). Weil dem wahrgenommenen Eindruck ähnliche oder gleiche Inhalte schon früher erlebt worden sind und funktionelle Dispositionen hinterlassen haben, wird jenem Eindruck der Eintritt ins Bewusstsein und in die Aufmerksamkeit erleichtert (OK. 455, 456).

Die Erhaltung des Zustandes der Aufmerksamkeit kann, wie es scheint, nicht über eine gewisse Grenze hinaus fortgesetzt werden. Wirkt ein klar erfasster Reiz längere Zeit auf uns ein, so stumpft sich unsere Empfänglichkeit für ihn sehr bald ab (OK. 456). Nach Wundt muss ein besonderes Zentralorgan für die Leistungen der Aufmerksamkeit existieren und alle diese Leistungen dürfen als Hemmungsprozesse aufgefasst werden (OK. 461). Bei einem Gedankenverlauf, in dem nicht eine Gesamtheit succedierender Eindrücke als solche reproduziert wird, ist die Geschwindigkeit der Succession der einzelnen selbständigen Vorstellungen eine erheblich geringere und so auch die Dauer jeder einzelnen wesentlich grösser als bei jener Succession der Empfindungen. Experimentell hat man etwa $^3/_4$ Sekunde als die Zeit ermittelt, die der Uebergang von einer zur anderen Vorstellung erfordert (OK. 400). Schon in den ersten Lebenstagen treten infolge der von den Hungerempfindungen ausgehenden Reflexe und der mit der Stillung des Hungers verbundenen Sinneswahrnehmungen in dem augenscheinlichen Suchen nach der Nahrungsquelle die ersten Anfänge einfacher triebartiger Willenshandlungen auf. Mit dem deutlicheren Erwachen der Aufmerksamkeit folgen dann zunächst die an Eindrücke des Gesicht- und Gehörsinns gebundenen Willensbewegungen nach: das Kind verfolgt gesehene Gegenstände mit Absicht.

nicht bloss reflektorisch, oder wendet den Kopf gehörten Geräuschen zu (WW. 341).

Abweichungen vom Bewusstsein finden sich vorzugsweise in zwei in die Breite des normalen Lebens fallenden Zuständen: im Traum und in der Hypnose (WW. 322). Der Eintritt der Hypnose ist an eine bestimmte, in ihrer Natur noch unbekannte Disposition des Nervensystems gebunden, die durch wiederholtes Hypnotisieren bedeutend gesteigert wird (WW. 324). Der Somnambule konzentriert nach Bernheim seine ganze Aufmerksamkeit darauf, die Absichten des Hypnotiseurs zu erraten (AF. 63). Man sieht, dass wenn man die Täuschung für alle Sinne eingiebt, dieselbe vollendeter wird (AF. 81). Die psychische Beeinflussung des Hypnotisierten bezeichnet man ganz allgemein als Suggestion und ist geneigt, ihr die Hauptrolle bei der Entstehung und dem Verlauf der Hypnose zuzugestehen (OK. 469, 470). Eine wichtige Thatsache ist es, dass man nicht selten einen normal schlafenden Menschen durch Suggestion beeinflussen und somit, ohne ihn zu wecken, in Hypnose überführen kann. Noch leichter ist es umgekehrt, die Hypnose in gewöhnlichen Schlaf durch Suggestion überzuführen (AF. 39). Die Personen der Umgebung der Kinder werden durch den Arzt und die Kinder durch ihre Umgebung unbewusst suggeriert (AF. 31, 32). Gewisse Suggestionen sind von der grössten pädagogischen Wichtigkeit. Ich stimme durch sanftes Einreden und Ueberreden den störrigen Knaben um, welcher durch Härte nur verstockter wird. In dieser Schwäche des kindlichen Willens liegt auch der Grund dafür, dass die kleinen Kinder selbst nicht hypnotisiert werden können (WPr. 223). Teils kann durch Suggestion nur das Bewusstwerden des Gedächtnisbildes des Schmerzes, teils aber auch das Bewusstwerden des peripheren Reizes selbst gehemmt oder inhibiert werden (AF. 83). Durch die bisherigen Erlebnisse des Individuums ist die Art der Aufnahme der Suggestion gegeben. Welcher ähnliche Fall am wenigsten latent, am leichtesten erregbar ist: der wird jetzt ins Bewusstsein treten. So wird einem Individuum „ganz neblig vor den Augen“, wenn ihm vom Hypnotiseur das Gesichtsbild des letzteren selber durch Suggestion genommen wird, weil bei jenem die Erinnerung an Nichtsehen von Bekannten in der Dämmerung am leichtesten erregbar war. Ein anderes Individuum

erklärt sich für blind usf. (AF. 126, 127). Bei der Suggestion arbeitet man mit dem Grosshirn des Hypnotisierten als Instrument. Bei Geisteskranken ist dieses Instrument in seiner Funktion gestört; daher geht es schlecht (AF. 129). Alles, was durch Suggestion erzeugt wird (Kopfschmerzen, Schwindel, Zittern usf.), kann auch durch Suggestion beseitigt werden, wenn man es rechtzeitig wegsuggeriert und sich nicht fixieren lässt (AF. 149). Für Entstehung und Verlauf hypnotischer Zustände ist die Suggestion bedeutsam. Fortwährend entstehen in uns Vorstellungen durch Worte, die wir hören, durch Handlungen, die wir sehen. Denn Wort und Handlung sind durch innige Associationen mit Vorstellungen verknüpft, und sie wirken um so stärker auf unser Bewusstsein und auf unseren Willen ein, je weniger sonstige Associationen oder intellektuelle Motive ihnen hemmend in den Weg treten (WW_1. 383, 384).

Lernen ist die Bildung neuer Bahnen, Gedächtnis der Besitzstand an vorhandenen Bahnen, Vergessen das Verschwinden von Bahnen. Gutes Gedächtnis bedeutet langes Persistieren der Bahnen. Gewohnheit beruht auf Bahnen, welche ausgefahren, das heisst durch den vielen Gebrauch sehr stark geworden sind. Je stärker eine Bahn ausgebildet ist, um so leichter geht die Erregung auf derselben (EZ. 16). Lust und Liebe zum Gegenstand pflegt beim Kind und beim Erwachsenen die Leistungsfähigkeit ihres Gedächtnisses zu steigern, und unangenehme Eindrücke haften mit grosser Ausdauer und Treue in der Erinnerung (OK. 217). Eine stark unlustbetonte Empfindung bohrt sich gewissermassen ein in das Bewusstsein und lässt keine anderen Vorstellungen daneben Fuss fassen (OK. 218).

Die kindliche Logik, besonders das Induzieren aus zu wenigen Einzelfällen, die Verstümmelungen reproduzierter Wörter, die verkehrten Anwendungen richtig wiederholter Ausdrücke, das Verwechseln der Gegenstände bei der sprachlichen Bezeichnung selbstgebildeter Begriffe liefern eine Fülle von beachtenswerten Thatsachen zur Psychogenesis. Dabei sind das Laut- und Wortgedächtnis, die Phantasie — im Ergänzen zumal — ebenso wie das erste Urteilen, die Satzbildung, das Fragen zu berücksichtigen (WPr. 310). Das ganz junge Kind leitet aus wenigen, schon aus zwei Beobachtungen, welche nur in einer vielleicht

an sich ganz untergeordneten Beziehung etwas Uebereinstimmendes bieten, ein Gesetz ab. Es induziert ohne Ueberlegung. Es hat gehört, wie die Milch „kochend heiss" genannt wurde, empfindet die Wärme und empfindet dann die Ofenwärme, folglich ist diese auch kochend heiss (WPr. 343). Preyer nimmt ein Verallgemeinerungsvermögen intelligenter aber alalischer Kinder an (WPr. 370). Indessen wird vielfach eine ungenaue Beobachtung sämtlicher Eigenschaften der wahrgenommenen Gegenstände dazu führen, dass verschiedene Gegenstände, welche nur zum Teil gleiche Eigenschaften haben, für gleich gehalten und später gleich bezeichnet werden.

Durch vervielfältigte Wahrnehmungen verschiedener Art (zb. verschieden begrenzter heller Felder) beginnt der Verstand für das Wahrgenommene eine Ursache zu setzen. Hiermit erhebt sich die Wahrnehmung zur Vorstellung. Das oft empfundene lokalisierte, süsse, warme, weisse Nass, das mit dem Saugen associiert ist, bildet wohl die erste relativ klare Vorstellung. Entsteht diese Vorstellung oft, so verknüpfen sich die zu ihrer Bildung notwendig gewesenen Einzelwahrnehmungen immer fester. Wenn dann eine von den letzteren für sich auftritt, müssen durch Miterregung der bt. corticalen Protoplasmafäden auch die Erinnerungsbilder der anderen auftreten, das heisst aber nichts anderes, als dass nun der Begriff da ist. Denn der Begriff entsteht durch Vereinigen von Merkmalen, das heisst durch gleichzeitige Erregung mehrerer Fasern (WPr. 394). Viele Vorstellungen müssen schon gebildet sein, um nur das Sprechenlernen zu ermöglichen. Das Vorhandensein von vielen Vorstellungen ist notwendige Bedingung für das Sprechenlernen, und da vor diesem die meisten Vorstellungen viel zu umfangreich sind, so müssen sie immerzu durch die Erfahrung korrigiert, das heisst voneinander abgegrenzt und eingeengt werden. Die logische Generalisation vor dem Sprechenlernen wird mit demselben immer mehr gezügelt (WPr. 398). Alles, was wir in unseren Vorstellungen antreffen, muss irgend einmal aus Sinnesempfindungen seinen Ursprung genommen haben, und auf den Vorstellungen ruht jede höhere geistige Thätigkeit. Man kann es bezweifeln, ob die letztere der fortdauernden Anregung durch die sinnliche Welt bedarf; aber dies lässt sich nicht bezweifeln, dass sie in der Sinnlichkeit die erste Anregung gefun-

den hat, und dass es die Sinnlichkeit ist, die fortwährend bestimmend in sie eingreift (WW_1. 127). So zweifellos es ist, dass Urteile einfachster Art, wie zb. „das Haus ist rot“ und die dazu gehörige Gesamtvorstellung „das rote Haus“ kaum thatsächlich voneinander zu unterscheiden sind, so verhält sich dies doch wesentlich anders bei solchen Denkakten, die eine zusammengesetztere Gliederung voraussetzen (WW_1. 358). Vielmehr können wir hier deutlich wahrnehmen, dass zwar vor dem Aussprechen des Gedankens dieser als Ganzes schon in uns liegt, dass aber doch die einzelnen Bestandteile erst in dem Masse zu klarem Bewusstsein erhoben werden, als wir die Zerlegung wirklich ausführen (WW_1. 358). Der Mensch denkt eigentlich nur selten und wenig. Unzählige Handlungen, die in ihren Erfolgen Intelligenzäusserungen gleichkommen, verdanken ihren Ursprung zweifellos der Association. Dazu kommt, dass im Menschen die Rückverwandlung logischer Denkakte in gewohnheitsmässige Associationen nicht nur den Umfang dieser, sondern auch ihre intellektuellen Erfolge verstärkt. Denn alles Eingeübte wird zur Association (WW_1. 416). Unsere Seele ist nichts anderes als die Summe unserer inneren Erlebnisse selbst, unseres Vorstellens, Fühlens und Wollens, wie es sich im Bewusstsein zu einer Einheit zusammenfügt und in einer Stufenfolge von Entwicklungen schliesslich zum selbstbewussten Denken und freien sittlichen Wollen erhebt (WW_1. 516).

Schon die niedersten Tiere (Protozoen, Cölenteraten usf.) zeigen Lebensäusserungen, die auf Vorstellungs- und Willensvorgänge schliessen lassen (WW. 328). Pierre Huber erzählt, er habe sich vergewissert, dass eine Ameise, aus ihrem Nest genommen und nach vier Monaten in dasselbe zurückversetzt, von ihren früheren Genossen wieder erkannt worden sei; denn sie sei friedlich aufgenommen worden, während sonst die Ameisen andere, die nicht zu dem Nest gehören, auch wenn sie von derselben Spezies sind, aus dem Neste treiben (WW_1. 389, 390). Lubbock entnahm dagegen die Ameisen ihrem Nest schon im Larvenzustand und brachte sie nach ihrer Entwicklung wieder in das Nest zurück: es ergab sich, dass sie auch jetzt friedlich aufgenommen wurden. Offenbar kann es sich also dabei nicht um einen individuellen Wiedererkennungsakt handeln, sondern nur um ein Merkmal, das allen Individuen einer Kolonie zu-

kommt, möglicherweise um einen ihnen eigenen spezifischen Geruch (WW_1. 390). Viele Amphibien lassen sich nach der Enthauptung noch monatelang am Leben erhalten und man beobachtet während dieser ganzen Zeit Steigerung der Reflexerregbarkeit (WW_1. 129). Es können einzelne Tiere, ohne so zu erschrecken, dass sie ihren Willen gänzlich verlieren, über neue Eindrücke erstaunen. Der Hund kann erstaunen wie ein Kind am Ofenfeuer, das es noch nicht kennt (WPr. 114). Auch die Mischung von Furcht und Erstaunen kommt bei Tieren gerade so vor wie bei Kindern, dann nämlich, wenn etwas ganz neues Unbegreifliches geschieht (WPr. 114). Die Unkenntnis erzeugt Furcht, die Neuheit der Eindrücke Erstaunen (WPr. 115). Wundt erzählt über das Vorhandensein oder Fehlen allgemeiner Erfahrungsbegriffe: Ich lehrte meinen Hund, eine offenstehende Thür in der bekannten Weise durch Anstemmen der Vorderbeine zuschliessen, sobald ihm der Befehl: „Thür zu!“ zugerufen war. Das Kunststück wurde ihm zunächst an einer bestimmten Thür meines Zimmers beigebracht. Als ich ihn nun gelegentlich dasselbe an einer anderen Thür des nämlichen Zimmers wiederholen lassen wollte, sah er mich verwundert an, ohne zu gehorchen. Erst mit einiger Mühe gelang es, ihn auch auf diese zweite abzurichten. Von da an gehorchte er dann aber ohne weiteres dem Befehle bei einer dritten und vierten, sobald diese nur irgend ähnlich aussahen (WW_1. 412). Von dem „Wesen“ einer Thüre hatte der Hund aber nur sehr dunkle Vorstellungen. Als ich ihm befahl, eine Pforte zu schliessen, die sich nach aussen öffnete, gehorchte er in derselben Weise, öffnete also, statt wirklich zu schliessen, und durch ungeduldige Wiederholung des Befehls konnte er zu nichts anderem gebracht werden, obgleich er offenbar sehr unglücklich über seine misslingenden Versuche war (WW_1. 413).

Das Tier kann seine Gemütsbewegungen äussern, das entwickeltere Tier kann in einem beschränkteren Grade auch Vorstellungen verraten, die mit solchen Gemütsbewegungen in Verbindung stehen. Das Tier besitzt gewisse Elemente der Sprache, aber es besitzt nicht die Sprache selbst. Wir würden daher schon aus dem Fehlen dieses äusseren Merkmals allen Grund haben, zu schliessen, dass auch die geistigen Funktionen fehlen, zu denen dieses Merkmal gehört (WW_1. 415). Sofern wir ge-

wisse für Gefühle und Vorstellungen charakteristische Bewegungen und Laute als Vorstufen der Sprachäusserung anerkennen, fehlen solche auch dem Tiere nicht, wie denn überhaupt sein seelisches Leben in jeder Beziehung eine Vorstufe des menschlichen Seelenlebens ist (WW_1. 416).

Die Instinkthandlung steht in der Mitte zwischen den Reflexbewegungen und den reinen Willenshandlungen (WW_1. 448). Bei allen Instinkten gehen die individuellen Triebhandlungen von bestimmten, teils äusseren, teils inneren, Empfindungsreizen aus (WW. 332). Spalding bemerkt: „Der Instinkt gegenwärtiger Generationen ist das Ergebnis accumulierter Erfahrungen vergangener Generationen.“ „Ich nenne den Instinkt das vererbte Gedächtnis“ (WPr. 156). Die Annahme, dass der Instinkt eine nur dem tierischen, nicht dem menschlichen Bewusstsein zukommende Eigenschaft sei, ist völlig unpsychologisch und steht im Widerspruch mit der Erfahrung (WW. 330).

Wenn der Nachtschmetterling die von ihm gelegten Eier mit einem Pelzüberzug aus seinen eigenen Haaren versieht, so ist der Winter, der diesen warmen Ueberzug zur Erhaltung der Eier nötig macht, noch nicht da. Wenn die Raupe sich verpuppt, so hat sie von der Metamorphose, die ihr bevorsteht, noch nichts erfahren (WW_1. 451). Die Raupe des Nachtpfauenauges spinnt an das obere Ende ihrer Puppenhülle ein doppeltes Gewölbe von steifen Borsten, die nur an der Spitze mit ganz feinen Fäden vereinigt sind: dieses Gewölbe öffnet sich auf einen leichten Druck von innen, gewährt aber gegen jeden Druck von aussen einen starken Widerstand (WW_1. 451). Eine Raupe, die im Granatapfel lebt, bahnt sich unmittelbar vor dem Eintritt ihrer Verwandlung einen Weg nach aussen und befestigt dann diese Stelle des Apfels mit Seidenfäden am nächsten Baumzweig, so dass jener nicht abfallen kann, bevor die Verwandlung vollzogen ist (WW_1. 466). Unzweifelhaft instinktive Bewegungen zeigen schon in den ersten Stunden nach dem Verlassen des Eies, ja schon während sie noch mit dem Sprengen der Schale beschäftigt sind, die Hühnchen (WPr. 155). Indessen hat das aus dem Ei gekrochene Hühnchen ebensowenig eine unbewusste Vorstellung von den Körnern, die seinen Hunger befriedigen sollen, wie das neugeborene Kind von der Mutterbrust, die ihm die ersehnte Nahrung zuführen soll. Wir haben

uns vielmehr zu denken, dass sich ein zweckmässiger Bewegungsmechanismus vererbt, der infolge bestimmter Reizungszustände innerer oder äusserer Organe des Körpers in gewohnter Weise in Thätigkeit gerät, also in Form eines Pickens auf den Boden, oder in Form von Saugbewegungen des Mundes (OK. 340). Die Flügbewegungen der ganz jungen Vögel können nicht Willkürbewegungen sein, sie sind instinktiv (WPr. 157).

E. Haeckel nimmt bei den meisten Wirbeltieren ein vierzelliges Reflexorgan an, indem zwischen die sensible Sinneszelle und die motorische Muskelzelle zwei verschiedene Seelenzellen eingeschaltet werden, die sensible Seelenzelle und die motorische Seelenzelle (EH_2. 134). Bei den einzelligen Protisten läuft der ganze physikalische Prozess des Reflexes innerhalb des Protoplasma einer einzigen Zelle ab; die „Zellseele" derselben erscheint noch als eine einheitliche Funktion des Psychoplasma, deren einzelne Phasen sich erst mit der Differenzierung besonderer Organe zu sondern beginnen (EH_2. 134). Jedes Protoplasmaelementarteilchen hat seine eigene selbständige Psyche (MV_1. 190.) Nach Verworn ist der Begriff Psyche so weit auszudehnen wie der Begriff Leben (MV_1. 203). Eine Entwicklung des psychischen Lebens von niederen zu höheren Organismen ist im Protistenreich schon bemerkbar (MV_1. 207). Aus den Vorgängen in den einfachen Protisten haben sich die höheren und höchsten psychischen Erscheinungen bei den Metazoen und dem Menschen entwickelt (MV_1. 212). Schon den Atomen wohnt nach Haeckel die einfachste Form der Empfindung und des Willens inne, also eine universale „Seele" von primitivster Art. Dasselbe gilt aber auch von den Molekeln oder Massenteilchen, welche aus zwei oder mehreren Atomen sich zusammensetzen. Aus der weiteren Verbindung verschiedener solcher Molekeln entstehen dann die einfachen und weiterhin die zusammengesetzten chemischen Verbindungen, in deren Aktion sich dasselbe Spiel in verwickelterer Form wiederholt (EH_2. 259).

Den Ursprung des socialen Triebes bei Tieren wird man nur in einem wenn auch noch so primitiven Neigungsgefühl suchen können, das die Tiere der gleichen Art zu einander führt, und das an bestimmte Sinneseindrücke, sei es des Geruch-, sei es des Gesichtsinns gebunden ist (WW_1. 471). Tritt das individuelle Neigungsgefühl in Verbindung mit dem Geschlechtstrieb,

so entstehen die Erscheinungen der Tierehe (WW_1. 472). Dehnt sich das Gefühl der Zusammengehörigkeit, das sich in der Ehe nur auf einzelne Individuen erstreckt, auf eine grössere Anzahl von Tieren aus, so entsteht die Tiergesellschaft (WW_1. 473). Gegenüber diesen verbreiteteren Formen geselliger Vereinigung nehmen die sg. Tierstaaten der Insekten, namentlich der Bienen und Ameisen, eine eigentümliche Stellung ein (WW_1. 474). Die Tierpsychologie weist so eindringlich wie möglich auf die Naturgrundlage der menschlichen Gemeinschaftsformen hin (WW_1. 483).

2. Kapitel.

Völker und Staaten.

Kampf um die Nahrung.

Soweit es sich lediglich um die Gewinnung der Nahrung handelt, ist es im allgemeinen für eine Art zweckmässig, wenn ihre einzelnen Individuen befähigt sind, zu wandern, auszuwandern, das heisst, sich möglichst über einen gewissen Bereich, der ihnen die notwendige Nahrung bietet, auszubreiten. Die Art breitet sich dann wirklich in solcher Weise aus. Denn ihre Individuen suchen alle die gleiche Nahrung und sie machen sich im Kampf ums Dasein gegenseitig die Nahrung streitig, wenn sie in einen zu engen Raum zusammengedrängt leben müssen. In letzterem Fall erhalten wir eine Uebervölkerung, bei welcher der Kampf der Individuen miteinander um ihre Nahrung ein immer heftigerer wird. Die schwächeren Individuen unterliegen im Kampf, die stärkeren überleben die anderen, und dabei vervollkommnet sich in der Art namentlich die Fähigkeit der Individuen, die Nahrung anderen gleichartigen Individuen zu rauben.

In solcher Weise entwickeln und differenzieren sich Völker niedrigster Organismen in begrenztem Raume, zb. Völker von Bakterien, etwa von Bazillen, die im Menschen eine bestimmte Krankheit hervorrufen. Mit grösster Geschwindigkeit breiten sich oft solche Arten aus über den ganzen Bereich des Körpers, der ihnen ihre Nahrung liefert. Dann aber beginnt Uebervölkerung einzutreten, und schliesslich gehen die Bazillen aus Nahrungsmangel wieder zu Grunde. Oft haben sie den Körper, in dem sie hausen, in seinem Leben gefährdet. Durch seinen

Tod bz. während seiner Nekrobiose gehen die jenen Bazillen zur Nahrung dienenden Substanzen in andere chemisch veränderte Substanzen über, die ihnen nicht mehr zur Nahrung dienen, und dann sterben jene selber wieder aus. In der Zeit des Nahrungsmangels vor ihrem Aussterben differenzieren sich aber die Bazillen, und diejenigen unter ihnen, welche am besten die Nahrung an sich zu ziehen, welche sie anderen gleichartigen Individuen zu entreissen vermögen, und diejenigen, welche am längsten ohne Nahrung auszuhalten im stande sind, bleiben am längsten am Leben. Diejenigen unter ihnen, welche durch solche Differenzierung die besondere Fähigkeit erlangt haben, leicht aus ihrem Nahrungsindividuum auszuwandern und ein anderes passendes Nahrungsindividuum aufzufinden, pflanzen sich weiter fort und geben zur Entstehung eines neuen analogen Volkes Veranlassung.

Aber die Nahrungssuche ist nicht die einzige Beschäftigung der lebenden Wesen, der Nahrungsmangel nicht die einzige Todesursache derselben. Jedes Individuum hat in anderen lebenden Wesen, ausserdem aber auch in gewissen Naturvorgängen Feinde, die sein Leben abzukürzen bestrebt sind. Gegen solche Feinde ist das einzelne Individuum in der Regel ohnmächtiger als eine Vereinigung vieler Individuen zu Gruppen. Durch Selektion im Kampf ums Dasein sind daher Gruppen gleicher Individuen entstanden, die solche Feinde gemeinsam bekämpfen.

Familien.

Am meisten gefährdet sind zu jeder Zeit die sehr jungen Lebewesen, die noch keinerlei Lebenserfahrungen gesammelt haben. Für ihren Schutz ist es das vorteilhafteste, wenn ihre elterlichen Individuen, die ihnen in der frühesten Zeit ihres Lebens nahe stehen, zu einer Gruppe mit ihnen vereint bleiben. Daher musste durch Differenzierung im Kampf ums Dasein vermöge des Darwinschen Selektionsprinzips die Familie sich entwickeln, die die Eltern mit ihren Kindern zu einer Gruppe vereinigt. Die Eltern ernähren ihre Kinder; sie beschützen dieselben, so lange sie schutzbedürftig sind. Die ausgewachsenen Jungen gehen aber in der Regel wieder ihre eigenen Wege. Sie verbinden sich

untereinander und bilden neue Familien. Sie wandern umher, verteilen sich über das Gebiet, das die nötige Nahrung für sie hervorbringt. In einer Familie sind im allgemeinen nur die ausgewachsenen Individuen, die Eltern vollständig im stande, den Kampf mit gefährlicheren Feinden, den Kampf mit der Welt erfolgreich aufzunehmen. Der Vater namentlich schützt seine Familie gegen Feinde aller Art, die das Leben eines der Familienglieder bedrohen könnten. Die Mutter sorgt mehr für die Ernährung der Nachkommen. Solche Gruppen in Familien zusammenlebender Individuen finden wir da und dort bei zahlreichen Arten der Tierwelt; insbesondere finden wir sie bei höher entwickelten Tieren und bei den Menschen.

Völker.

Die Daseinsbedingungen können für eine Art besonders verwickelte, besonders schwierige sein, so dass auch die einzelnen Familien im Kampf ums Dasein leicht untergehen. Die ganze Art kann auszusterben drohen. Dieser Fall tritt ein, wenn zahlreiche und mächtige Feinde, oder wenn gewisse häufige Naturereignisse nicht nur die einzelnen Individuen, sondern in der Regel auch die ganzen Familien dieser Art zu vernichten im stande sind. Es werden dann diejenigen Arten im Kampf ums Dasein bevorzugt, deren verschiedene Familien überdies noch in grösseren Gruppen beisammenbleiben. Es sind diejenigen Arten siegreich, deren Individuen zu Herden, zu ganzen Völkern sich zusammenscharen und gemeinsam den Feind bz. die Naturereignisse bekämpfen. Alle Individuen oder einzelnen Familien dagegen, welche sich nicht zu Völkern vereinigen wollen, welche ihre persönlichen Freiheiten übermässig lieben und welche sich deshalb von den übrigen Familien isolieren, unterliegen im Kampf mit den mächtigeren Feinden oder mit den grossen Naturereignissen. In solcher Weise bleiben vermöge des Selektionsprinzips im Kampf ums Dasein zuletzt diejenigen Familien allein übrig, welche nicht nur die Fähigkeit, welche vielmehr den Trieb in sich besitzen, zu grösseren Gruppen von Familien, zu ganzen Völkern verbunden zu sein.

Staaten.

In einem Volk, dessen Individuen zu gemeinsamer Bekämpfung und Ueberwindung drohender Gefahren sich verbinden, entwickelt sich der Staat. Die einzelnen Individuen differenzieren sich. Bestimmte Individuen übernehmen die Verteidigung ihres Volkes bz. den Angriff auf Feinde, andere Individuen sorgen für die Ernährung ihres Volkes. Es muss sodann Individuen geben, die besonders die Leitung des ganzen Volkes besorgen. Endlich widmen sich manche Individuen vorzugsweise dem Fortpflanzungsgeschäfte bz. der Nachkommenschaft.

Ziemlich weit ausgebildet finden wir solche Staaten bekanntlich bei Bienen, bei Ameisen, bei Termiten mit ihren Arbeiterinnen, Soldaten, Geschlechtstieren; Anfänge von wirklichen Staatenbildungen lassen sich wohl auch bei manchen höheren Tierarten erkennen, beispielsweise bei Störchen, Schwalben und anderen Zugvögeln, sowie bei zahlreichen Säugetierarten. Die höchstentwickelten sind aber die Menschenstaaten, und zwar im allgemeinen diejenigen der gegenwärtigen Kulturperiode.

Menschenstaaten.

Unterwerfen wir den modernen Menschenstaat einer besonderen Prüfung. In diesem Menschenstaat ist die Differenzierung bereits so weit gediehen, dass einzelne Individuen dem Stützen, dem Schutz der einzelnen Menschen oder des ganzen Menschenstaates sich widmen, andere dem Transport aller Art, andere dem Hervorbringen, dem Verarbeiten und Geniessbarmachen der Nahrung. Ein Teil der Menschen sorgt für die Nachkommenschaft, damit das Volk nicht aussterbe; die Nachkommen müssen ernährt, erzogen und zu brauchbaren Staatsangehörigen herangebildet werden. Ein anderer Teil der Menschen übernimmt die Leitung der übrigen Menschen, die Leitung einzelner Gruppen ihrer Mitmenschen, oder die Leitung des gesamten Volkes, die Staatsleitung.

Aber noch weiter haben sich die Individuen des modernen Menschenstaats im Lauf der Zeit differenziert, in der Weise, dass viele Menschen, die ähnliche Ziele im Auge haben, zu beson-

deren Gruppen sich verbunden haben, zu gemeinsamer Verfolgung ihrer Ziele. Wie in tierischen Zellenstaaten für alle wichtigeren Funktionen besondere Organe entstanden sind, so haben in Menschenstaaten viele in gleicher Richtung arbeitende Menschen zu Organen sich zusammengeschlossen. Es sind Verbände, Gesellschaften, Genossenschaften entstanden, die mit vereinter Kraft, durch Teilung der Arbeit, das heisst durch zweckentsprechende Differenzierung, grössere Aufgaben in Angriff nehmen, dieselben glücklicher zu Ende führen können, als es der einzelne Mensch allein vermöchte. Solche Gruppen von Menschen eines Staates widmen sich einem Gewerbe oder dem Ackerbau, der Viehzucht, dem Transport- und Verkehrswesen, dem Handel, der Lagerung von Vorräten, der Industrie, dem Militärwesen, der Schule, der Kirche usf.; eine Gruppe aber widmet sich der Staatsleitung selber.

Würde man einen Menschenstaat bis ins einzelne aufs genaueste mit den höher entwickelten tierischen Zellenstaaten vergleichen, so würde man Analogien mannigfaltiger Art finden mit den Stützorganen, mit den transportierenden, den verdauenden, sezernierenden, kontraktilen, nervösen Organen der tierischen Zellenstaaten (II, S. 91), Analogien, die eben dazu geführt haben, die entsprechenden Zellverbände als Zellenstaaten zu bezeichnen. In der That bildet ja auch der Menschenstaat, wie der Zellenstaat, für sich ein einheitliches Ganzes, und jener kann wie dieser als ein „Individuum“ aufgefasst werden, wenn wir ihn mit anderen fremden Menschenstaaten vergleichen. Der nervösen Leitung im tierischen Zellenstaat, welche vorzugsweise von den nervösen Zellen, von den nervösen Organen besorgt wird und welche im wesentlichen auf chemische Reizleitungen zurückgeführt worden ist (II, S. 3), entspricht im Menschenstaat die gesamte Staatsleitung, wie sie nicht nur durch die oberste Regierung selber, sondern auch durch die ihr untergebenen Organe, durch die Schule, durch die Gerichte, die Polizei usf. ausgeübt wird. Als Mittel, die Staatsleitung besonders wirksam zu gestalten, spielen die Sprache und die Schrift eine überaus wichtige Rolle.

Entwicklung der Menschenstaaten.

Die menschlichen Staaten haben sich in ihrem Kampf ums Dasein ganz analog ihren Daseinsbedingungen angepasst, wie ihre einzelnen Individuen, wie die Menschen selber, die wir als tierische Zellenstaaten aufzufassen haben. Wir könnten die Analogien zwischen Menschenstaaten und Zellenstaaten noch weiter verfolgen und von der Fortpflanzung der Völker durch Kolonienbildung, von der Vererbung ihrer erworbenen Eigenschaften durch Uebertragung ihrer Staatsform auf die Tochterkolonien sprechen. Wird dem Menschenstaat ein grosser Teil seiner Individuen entrissen, durch Krieg, durch grosse Naturereignisse usf., so kann sich derselbe wieder regenerieren, unter Umständen auch dann, wenn von seinen wesentlichsten Teilen einer oder mehrere für ihn völlig verloren gegangen sind, so dass andere Teile vikarierend eintreten müssen. Der Menschenstaat kann sich geänderten Lebensbedingungen mehr oder weniger anpassen, und sein Anpassungsvermögen wird in manchen Fällen verstärkt durch Aufnahme fremder Elemente, das heisst durch Herbeiziehung von geeigneten Individuen eines fremden Staates, die dem eigenen Staat einverleibt werden, durch geschlechtliche Verbindung solcher mit eigenen Staatsangehörigen behufs Erzeugung gemischter Nachkommen. Sogar zu den „rudimentären Organen“ der tierischen Zellenstaaten liessen sich in unseren Menschenstaaten manche althergebrachten und nicht mehr im ursprünglichen Sinn notwendigen Einrichtungen als Analogien namhaft machen.

Wenn wir im Verlauf unserer Betrachtungen zur Erkenntnis geführt werden, dass unsere Menschenstaaten nach und nach im Kampf ums Dasein mit anderen Menschenstaaten dem Darwinschen Selektionsprinzip zufolge sich entwickelt haben und sich immer noch weiter entwickeln, ganz analog wie auch die tierischen Zellenstaaten sich fortwährend entwickeln, so werden wir unverzüglich zu der Frage geführt, ob denn ein moderner Menschenstaat bereits so zweckmässig eingerichtet sei, als es seinen gegenwärtigen Lebensbedingungen entspreche, oder ob er der weiteren Entwicklung und Verbesserung dringend bedürfe und welchem Grenzzustand er sich denn zu nähern suche?

Die mittlere Lebensdauer der einzelnen tierischen Individuen ist eine verhältnismässig kurze. Nur bei höher entwickelten Tierarten kann sie 100 oder noch mehr Jahre betragen. Die Lebensdauer eines Menschenvolkes muss dagegen in der Regel nach Jahrtausenden gemessen werden. Daraus geht hervor, dass das Selektionsprinzip im Kampf ums Dasein, welches auch das Völker verbessernde und zweckmässig gestaltende Prinzip der Natur ist, bei Menschenvölkern nur sehr langsam wirken kann. Wenn Jahrtausende verstreichen, bis unter den zahlreichen Völkern die besseren, die zweckmässiger eingerichteten aus dem Kampf ums Dasein, aus dem Kampf mit den anderen ringenden Völkern siegreich hervorgehen, so vermag der einzelne Mensch kaum die stetige Anpassung solcher Völker an die für sie massgebenden Lebensbedingungen zu überschauen. In der That ist die Anpassung der ganzen Völker an ihre Daseinsbedingungen eine verhältnismässig geringe. Die Entwicklung der Menschenstaaten geht ungemein langsam vor sich. Die Schuld an dieser übermässig gehemmten Entwicklung tragen in erster Linie diejenigen Menschen, welche falsche, der Natur und ihren Forderungen völlig widersprechende Kulturprinzipe aufgestellt und zur Annahme gebracht haben.

Zukunftsstaat.

Vergleichen wir den Menschenstaat in seiner Entwicklung mit dem sich entwickelnden tierischen Zellenstaat und finden wir, dass durch den Kampf ums Dasein in jenem wie in diesem so manches analog sich entwickelt habe, so liegt die Vermutung nahe, das Richtigste und Zweckmässigste, das den Forderungen der Natur am besten Entsprechende sei ein Menschenstaat, der nach vollständiger Analogie mit einem Zellenstaat sich aufbaue. Wie im Zellenstaat jede Zelle als Teil des Ganzen ihre bestimmten Funktionen hat, die sie fortdauernd besorgen muss und die sie, ihrer Differenzierung und Anpassung zufolge, besser besorgt, als alle anderen Zellen des Zellenstaats, so soll auch im Menschenstaat jeder Staatsangehörige diejenigen Funktionen besorgen, welche für den ganzen Staat die zweckmässigsten sind, und er soll dabei gerade diejenigen Funktionen über-

nehmen, welche er besser verrichten kann, als irgend ein anderer Staatsangehöriger.

Man könnte versucht sein zu glauben, unser Menschenstaat entspreche ja, so gut als es möglich sei, in seiner Einrichtung dem von der Natur selbstthätig, im Kampf ums Dasein, hervorgebrachten Zellenstaat, oder er sei sogar noch viel vollkommener, viel zweckmässiger eingerichtet als dieser. Indessen ist solches durchaus nicht der Fall. Die Individuen des Menschenstaats sind im Verhältnis zu einander viel weniger differenziert als die Zellen des Zellenstaats, und die Menschen wollen sich dem Wohl des Ganzen nie völlig unterordnen, während die Zellen nur als Teile des Ganzen Bestand haben können. Bei den Menschen werden neben dem richtigen Prinzip der Brüderlichkeit immer wieder das Prinzip der Freiheit und namentlich das Prinzip der Gleichheit festgehalten, welche beiden letzteren Prinzipe doch offenbar den ganzen Errungenschaften der neueren Naturwissenschaften zuwiderlaufen. Ungleichheit ist das bessere, das allein richtige Prinzip. Die Menschen sollen sich bestreben, ungleich zu werden. Sie sollen sich so viel als möglich zu differenzieren, den verschiedensten für den Menschenstaat notwendigen Arbeiten anzupassen suchen, um in ihrem Spezialgebiet Hervorragendes zu leisten. Nur in der einen Beziehung sollen sie gleich sein, dass sie alle als Glieder eines Staates dem Wohl desselben ausschliesslich sich widmen. So wie die Leistungen der einzelnen Staatsangehörigen ungleich sind und ungleich sein sollen, so müssen auch ihre Rechte, ihre Pflichten ungleich sein, andere für jeden anders beschäftigten Staatsangehörigen.

Ein Menschenstaat, der den Forderungen der Zweckmässigkeit aufs vollkommenste Genüge leistet, ist unser Idealstaat. Er wird auch unser Zukunftsstaat sein. Diesem suchen sich unsere Staaten im Lauf der Zeit mehr und mehr zu nähern, dem Darwinschen Selektionsprinzip zufolge, indem jeweilen die weniger günstig von den günstiger eingerichteten Staaten verdrängt werden. Die ersteren unterliegen im Kampf ums Dasein gegen die letzteren. Im Zukunftsstaat ist aber jeder Mensch ein nützliches und notwendiges Glied der Gesamtheit. Er ist so fest mit dem Ganzen verwachsen, dass es sein höchstes Bestreben bleibt, das Ganze zu fördern. Persönliche Sonderinteressen, die dem Staat Nachteil brächten, darf er gar nicht kennen. Schon durch

früheste Erziehung der Jugend wird dieses erstrebenswerte Ideal jedem Menschen, jedem Angehörigen eines solchen Staates eingepflanzt. Durch die nachfolgende Ausbildung des Geistes muss das Ideal weiter befestigt werden, als oberster Grundsatz der zweckmässigen Einrichtung eines Menschenstaats. Wir wollen im folgenden den spezielleren Einrichtungen des Zukunftsstaats, wie wir dieselben aus der Parallele mit dem Zellenstaat ableiten, wenigstens in ihren Grundzügen noch etwas näher treten.

Staatsbetrieb.

Wenn der Zukunftsstaat an seine Angehörigen die Forderung stellt, dass sie dem Wohl des Ganzen gegenüber alle ihre Sonderinteressen beiseite schieben und nur dem Ganzen dienen, so muss umgekehrt der Staat als solcher alle berechtigten Interessen seiner Angehörigen schützen und wahren. Der Staat muss demzufolge in den verschiedensten Gebieten selber Unternehmer sein. Alle Erfordernisse seiner Angehörigen muss der Staat selber herbeischaffen, alle Bedürfnisse derselben muss er befriedigen können, und zwar so gut, als es irgend möglich ist. Denn wenn ein Mensch erkennen würde, dass sein eigener Staat dieses oder jenes schlechter liefere oder besorge, als irgend ein fremder Lieferant (Mensch oder Staat), so zöge er vor, sich seinen Bedarf von diesem letzteren zu holen, und damit würde er sich schon teilweise von seinem eigenen Staat abwenden.

Eine Vergleichung der grossen mit den kleinen Gesellschaften, der grossen mit den kleinen Unternehmern unserer jetzigen Staaten lehrt uns, in welcher Weise der Zukunftsstaat am zweckmässigsten einzurichten ist: es müssen im Zukunftsstaat immer zahlreiche seiner Glieder möglichst zusammen auf ein und dasselbe Ziel hinarbeiten. Der Staat muss daher alle wichtigen Unternehmungen in grossem Massstab betreiben. Derselbe muss genügend grosse und zusammenhängende anpflanzungsfähige Felder besitzen. Er muss diese Felder bebauen lassen. Für alle Industrien muss der Staat passend im Land verteilte Fabriken erstellen, so dass er im eigenen Betrieb allen seinen Angehörigen stets die notwendige Nahrung, Kleidung, Wohnung, Beleuchtung, Heizung usf. liefern kann. Er muss genügende

Lager anlegen und Vorräte aufhäufen, damit auch in Zeiten der Not und Gefahr seine Angehörigen keinen Mangel leiden. Dadurch wird den letzteren das Gefühl der Sicherheit beigebracht und der Zusammenhalt des ganzen Staates befestigt. Zweckmässig und daher notwendig erscheint es, in jedem Einzelbetrieb und im ganzen Staatsbetrieb besondere Beamte damit zu beauftragen, die Beziehungen unter den weiter voneinander entfernten Beamtengruppen zu unterhalten, so dass die richtige Korrelation unter allen benachbarten und nicht benachbarten Beamten und Organen der einzelnen Betriebe und des Staatsbetriebs gewahrt bleibt. Die Staatseinrichtung und die Staatsleitung müssen überhaupt dergestalt zweckmässig ausgebildet sein, dass das Volk weder durch Bekriegung, die von Nachbarvölkern ausgeht, noch durch elementare Naturereignisse vernichtet werden kann.

Es ist klar, dass in einem solchen Zukunftsstaat alle Staatsangehörigen zugleich Staatsbeamte sind. Denn was sie arbeiten, arbeiten sie für das Ganze. Es wäre indessen ungerecht und würde der Zweckmässigkeitsforderung, diesem wichtigen Naturprinzip, durchaus zuwiderlaufen, wenn der Staat allen seinen Angestellten einen gleichmässigen Lohn auszahlen oder wenn er ihnen statt des Lohnes Nahrung, Kleidung usf. in gewissem gleichem Betrag, etwa einem mittleren Bedürfnis entsprechend, aushändigen wollte. Denn die Menschen arbeiten ungleich und sie haben auch ungleiche Bedürfnisse. Der Staat hat aber die Pflicht, seine eigene Vervollkommnung nicht ausser acht zu lassen. Er wird daher die besseren Arbeiter den schlechteren vorziehen, dadurch, dass er jenen einen höheren Lohn bezahlt als diesen, und dass er jene zu wichtigeren, zu höheren Staatsstellungen emporsteigen lässt als diese. Der Staat wird also, wo es irgendwie erreicht werden kann, alle Arbeiten seiner Angehörigen nach ihrer Qualität und nach ihrer Quantität bezahlen; er wird das Arbeiten „im Accord“ dem Arbeiten „im Taglohn“ überall vorziehen, für alle Staatsstellen, für alle Staatsbeamten.

Führt auch der Staat in allen wichtigen Gebieten den Staatsbetrieb ein, so darf doch kein Gebiet als sein Monopol erklärt werden. Denn dieses würde die Entwicklung, die Vervollkommnung des bt. Gebietes hemmen. Der Staat soll im

Gegenteil dafür sorgen, dass die Konkurrenz überall unter seinen Beamten, unter den kleineren und grösseren Gruppen von solchen sich ausbilde. Befinden sich beispielsweise im ganzen Land verteilt zahlreiche staatliche Brotfabriken, so soll jede von ihnen das Brot so gut und so billig als möglich zu liefern suchen. Die Staatsleitung hat dann die Gründe der schlechteren Herstellung durch einzelne Fabriken aufzusuchen und die Besserung der Verhältnisse einzuleiten. Ganz ebenso soll es in jedem anderen Gebiet sein. Es erscheint sogar zweckmässig, fremde Unternehmer, die auf eigene Rechnung arbeiten, im Staat zu dulden, wenn sie diesem durch ihre besseren oder billigeren Erzeugnisse oder in irgend einer anderen Weise nützlich sind. Solche auf eigene Rechnung im Zukunftsstaat arbeitende Unternehmer will ich für die Folge als „Synbionten des Staates" bezeichnen, der Einfachheit halber. Die Konkurrenz zwischen den Unternehmungen dieser Synbionten und den analogen Unternehmungen des Staates wird dem letzteren selber zum Vorteil gereichen. Auch selbständige Unternehmergruppen, kleinere Völker im grossen Volk sind in unserem Staatswesen zu dulden, wenn sie demselben nicht schädlich, vielmehr in irgend einer Weise von Nutzen sind.

Steuerwesen.

Im Zukunftsstaat, der alle wichtigeren Betriebe in eigener Unternehmung besorgt, sind somit, wie wir bereits erwähnten, alle Staatsangehörigen zugleich Staatsbeamte, die Synbionten ausgenommen. Es ist dabei wohl selbstverständlich, dass die Staatsbeamten bezüglich ihres Staatseinkommens steuerfrei sind. Denn es hätte keinen Zweck, ein besonderes Beamtenheer aufzustellen, das die Einkommen aller Staatsbeamten feststellt, die darauf entfallenden Steuern berechnet und diese Steuern einzieht. Vielmehr wird eine solche Steuer gewissermassen bei der Lohnzahlung schon in Anschlag gebracht, dadurch, dass ein um den Steuerbetrag geringerer Lohn an alle Staatsbeamten bezahlt wird. Das in Staatswerten irgend welcher Art, zb. in Staatspapieren angelegte Vermögen muss gleichfalls steuerfrei sein, zur Vereinfachung des Staatsbetriebes. Der Staat bezahlt dafür einen um den entsprechenden Betrag geringeren Zins.

Für den Zukunftsstaat fallen die Zölle mit dem komplizierten Apparat ihrer Eintreibung fort. Denn der Staat ist selber Unternehmer im grossen. Er schafft im wesentlichen die notwendigen Waren aller Art in so grossen Quantitäten und in so guten Qualitäten an, dass auch diejenigen kleineren selbständigen Unternehmer, die er als Synbionten in seinem Staatsverband duldet, ihre von auswärts zu beziehenden Waren sich vom Staatsvorrat zu verschaffen suchen. Würden nämlich diese von anderer Seite ihre Waren besser oder billiger beziehen, als aus dem Staatsvorrat, so wäre solches vom Staate zu gestatten, dem Prinzip der freien Konkurrenz zufolge. Denn der Staat würde daraus die Lehre ziehen, dass er selber noch nicht die beste oder die billigste Bezugsquelle gefunden habe.

Steuern zieht der Staat nur ein vom Vermögen und vom Einkommen seiner Synbionten, sowie von solchem Vermögen seiner Beamten, das nicht in eigenen Staatswerten angelegt ist. Dabei ist es strenge Pflicht des Steuerzahlers, Vermögen und Einkommen Jahr für Jahr aufs genaueste anzugeben. Es soll zb. alles Vermögen, das der Steuerpflicht absichtlich entzogen worden ist, am Tag der Entdeckung, also etwa beim Todesfall des Besitzers, dem Staat anheimfallen. Der Staat bezieht ferner eine nicht zu geringe Erbschaftssteuer vom Vermögen des Erblassers, welche Steuer eine um so höhere ist, je weiter entfernten Verwandten die Erbschaft zufällt. Im übrigen hindert der Staat das Anwachsen von Vermögen bei seinen Beamten in keiner Weise, er unterstützt dasselbe im Gegenteil. Denn die Kapitalisten eines Menschenstaats entsprechen den Reservezellen eines Zellenstaates, die gleichfalls für den letzteren ganz unentbehrlich sind. In Zeiten der Not, in Missjahren, beim Krieg muss das Vermögen der Kapitalisten aushelfen. Der Staat muss sich solches leihen können. In guten Jahren zahlt er dasselbe wieder zurück.

Staatsvermögen.

Der Staat muss auch selber ein jederzeit umsetzbares Reservevermögen anlegen, zb. in barem Geld. Zwar haben seine Einnahmen scheinbar abgenommen um den Betrag der nicht erhobenen Zölle usf. Indessen habe ich schon hervorgehoben,

dass die nicht erhobenen Zölle und Steuern dem Staate selber doch zu gute kommen. Ausserdem ist der Staat der grösste Unternehmer, der im Wettbewerb mit jedem kleineren Unternehmer siegen muss, wenn im übrigen seine Angestellten, seine Organe nur gleich gut arbeiten, wie diejenigen des letzteren Unternehmers. Demnach muss der Staat einen Reingewinn von seinen Unternehmungen haben. Er bezahlt seinen Angestellten so hohe Löhne, dass er selber eben noch einen Reingewinn erübrigt, gross genug, um ein geeignetes Staatsreservevermögen anzulegen. Der Staat soll so wenig als möglich von fremden Staatsangehörigen Geld für seinen Betrieb aufnehmen, damit er in Zeiten der Not und Gefahr von jenen nicht in Verlegenheit gebracht werden kann.

Grund und Boden soll durchweg dem Staat selber gehören. Was ihm noch nicht gehört, erwirbt er durch Kauf. Seine Synbionten können das etwa erforderliche Land nur pachtweise übernehmen, zb. auf 100 Jahre. Derjenige Staatsbeamte, der sich ein eigenes Haus bauen will, kann den hierfür nötigen Boden gleichfalls nur pachtweise vom Staat erhalten. Dementsprechend gehen vom Beginn des Zukunftsstaats an in 100 Jahren alle Ländereien des ganzen Volkes in Staatsbesitz über. Es sinkt also von da an der Bodenwert von Jahr zu Jahr. Der Besitzer kann aber zu einem entsprechend sich ermässigenden Verkaufspreis jederzeit seine Grundstücke dem Staat abtreten.

Rechte und Pflichten der Beamten.

Ziehen wir die Parallele zwischen dem Zellenstaat und dem Menschenstaat weiter, so erkennen wir, dass alle Beamten unseres Zukunftsstaates in gewissen Beziehungen gleichberechtigt sind. Jeder angehende Staatsbeamte beginnt nämlich seine Laufbahn an einer untersten Stufe von Staatsstellungen. Von dieser Stufe an kann er aber emporsteigen bis zu der höchsten Staatsstelle. Stets muss indessen dabei das Zweckmässigkeitsprinzip gültig bleiben. Es steigt also von einer Gruppe gleichstehender Beamten immer nur der tüchtigste empor. Andererseits muss ein Untüchtiger jederzeit aus seiner Stellung weggedrängt, er muss in eine niedrigere Stellung zurückversetzt werden können. Mit

anderen Worten: Jeder Staatsbeamte ist absetzbar, auch die Richter, die Professoren usf.

Die Beförderung und die Versetzung, die Rückversetzung oder die Absetzung eines Staatsbeamten kann nicht ausschliesslich Sache eines oder einiger der obersten Staatsleiter sein; denn die wahren Interessen dieser obersten Beamten liegen höher. Vielmehr sind, wie man auch aus der Entwicklungsgeschichte eines Zellenstaates schliessen kann, die unmittelbar mit jenem zu versetzenden Beamten verkehrenden übrigen Beamten im gegebenen Fall die urteilsfähigsten Glieder des Staates. Bei irgend einer Versetzung eines Beamten sollen daher die Uebergebenen desselben, die mit ihm auf gleicher Stufe Stehenden, und die ihm Untergebenen mitwirken, soweit alle diese in irgend welcher engeren Fühlung mit ihm stehen.

Es kann das System beispielsweise für die Beförderung so ausgebildet sein, dass die Untergebenen das Vorschlagsrecht, die Gleichstehenden und die Uebergebenen das Wahlrecht haben, wobei ohne genügende Gegengründe einer der Vorgeschlagenen berücksichtigt werden muss. Oder es können alle genannten Gruppen an der Wahl sich beteiligen. Jedoch werden den Stimmen der Uebergebenen, der Gleichstehenden und der Untergebenen verschiedene Gewichte beigelegt, so dass der Entscheid doch mehr in den Händen der Erfahrenen, der Tüchtigen, der höher Emporgestiegenen, als in denen der unerfahrenen Jungen, der Untüchtigen und Zurückgebliebenen liegt.

Das Versetzungs- bz. das Absetzungsrecht soll dagegen den Untergebenen verhältnismässig mehr zu gute kommen. Wenn in einem Zellenstaat gewisse Zellengruppen mit ihrer Oberleitung nicht mehr sich vertragen, wenn sie den geforderten neuen Bedingungen sich nicht anzupassen vermögen, so fangen sie an ihre Funktionen einzustellen, bis jene Bedingungen günstiger geworden sind. Der Zellenstaat funktioniert nur dann gut, wenn alle seine Bestandteile gut zusammenarbeiten. Dasselbe muss für den Menschenstaat gültig sein. Wenn daher die Untergebenen in ihrer Mehrheit mit einem Beamten nicht mehr zusammenarbeiten wollen, so können sie eine Aenderung verlangen. Diejenigen Gruppen, die den bt. Beamten gewählt haben, werden dann entscheiden, ob der letztere in gleicher Eigenschaft zu versetzen, ob er auf eine tiefere Beamtenstufe

zurückzuversetzen oder ob er überhaupt aus dem Staatsdienst ganz zu entlassen sei, nach Prüfung der Klagen, die gegen ihn erhoben worden sind. Indessen kann die Unzufriedenheit der Untergebenen möglicherweise davon herrühren, dass in der bt. Gruppe besonders unzufriedene Elemente sich befinden, die auch die ihnen gleichgestellten Beamten zur Unzufriedenheit gebracht und sie aufgewiegelt haben. In diesem Fall werden jene unzufriedenen Elemente selber in passender Weise entfernt; denn sie gefährden mit ihren aufrührerischen Bestrebungen die Grundlage des Staats. In analoger Weise können Gleichgestellte oder Uebergebene auf Versetzung oder auf Absetzung eines Beamten Antrag stellen, zur Erleichterung der Ausscheidung untüchtiger oder schlechter Elemente.

Alle Staatsbeamten sind also darin gleichberechtigt, dass sie ein direktes Wahlrecht und ein Vetorecht besitzen. Sie helfen bei der Wahl bz. bei der Entfernung ihrer Untergebenen, ihrer Gleichgestellten und ihrer Uebergebenen. Je nach der von einem Beamten bereits erreichten Staatsstellung ist nur die Gruppe der Beamten, die er durch seine Wahl beeinflussen kann, eine andere. Allerdings hat dabei ein Beamter um so mehr Einfluss auf das ganze Staatsgetriebe, je höher er steht. Andererseits kann es aber nur im Interesse aller Staatsangehörigen liegen, dass sie gerade diejenigen Beamten wählen helfen, mit denen sie selber fortwährend in Verkehr stehen müssen.

Dadurch sind nun in unserem System die persönlichen Wahlrechte bereits festgelegt. Ein anderes Wahlrecht, namentlich ein gleiches Wahlrecht, mit gleichem Stimmengewicht für alle Staatsangehörigen, wodurch die höheren und die höchsten Staatsstellen zu besetzen wären, giebt es nicht. Denn es ist dies die unzweckmässigste Einrichtung, die in einem Staatswesen überhaupt eingeführt sein kann. Jeder Staatsangehörige ist nur fähig, seine Stimme einem Beamten zu geben, den er persönlich genügend kennt. Ist sein Wahlrecht ein weiterreichendes, so muss er bei seiner Wahl von einem anderen sich leiten lassen, der den zu Wählenden persönlich kennt, was offenbar für den Staat selber ganz unzweckmässig ist.

Auch über Staatsinstitutionen aller Art stimmen diejenigen Staatsbeamten ab, die mit diesen Institutionen irgend welche

Beziehungen haben, nach Massgabe dieser letzteren. Je wichtiger die vorzunehmenden Umgestaltungen für das ganze Staatswesen sind, um so weiter muss der Umkreis benachbarter zu berücksichtigender Gebiete und um so grösser muss also die Zahl der zur Abstimmung Herbeizuziehenden sein. Wenn aber die Gesamtheit der nicht unmittelbar von jenen Aenderungen Betroffenen unter sich eine Mehrheit gegen jene Neuerung zu stande bringt, kann sie den beabsichtigten Aenderungen ihr Veto entgegensetzen. Neue Institutionen, die die Staatsverfassung von Grund aus zu verändern geeignet sind, dürfen nur eingeführt werden, wenn die Mehrheiten aller lebenden Staatsbeamten, nach Massgabe ihres Stimmengewichts, wirklich für diese Aenderungen stimmen. Für sofortige Aenderungen von Institutionen oder Wechsel von Personen ist eine entsprechend grössere Majorität, eine Zweidrittel- oder Dreiviertelmajorität von Stimmenden erforderlich.

Das Gewicht der Stimme eines Staatsbeamten wird ein grösseres mit seiner höheren Stellung, das heisst im allgemeinen auch mit seinem zunehmenden Alter, mit seiner grösseren Erfahrung. Würde etwa in einfachster und anschaulichster Weise unser Staat bestehen aus

1	ersten	Beamten	A
10	zweiten	„	B
100	dritten	„	C
1 000	vierten	„	D
10 000	fünften	„	E
100 000	sechsten	„	F
1 000 000	siebenten	„	G
10 000 000	achten	„	H

so würde zb. jeder Beamte einer höheren Gruppe bei den Abstimmungen ein zehnmal so grosses Stimmengewicht erhalten als die Beamten der nächst tieferen Gruppe. Es hätte demnach der oberste Staatsbeamte A allein schon dasselbe Stimmengewicht, wie jede einzelne der ihm untergebenen Gruppen B C D . . . in ihrer Gesamtheit.

Eine Aenderung der wichtigsten allgemeinen Staatsinstitutionen soll nun nicht zu leicht möglich gemacht werden. Sie soll lediglich beschlossen werden dürfen durch die effektive Mehr-

heit[1]) in jeder einzelnen jener genannten Gruppen A bis H und durch gleichzeitige effektive Mehrheit in jedem einzelnen der grossen Fachgebiete des Staates. Noch zweckmässiger erscheint es, jeder effektiven Mehrheit in irgend einer jener Gruppen oder in irgend einem der grossen Fachgebiete ein Vetorecht gegen jede beliebige beabsichtigte Neuerung von Staatsinstitutionen einzuräumen. Beispielsweise hätte in obengenannter Verteilung die effektive Mehrheit jeder Gruppe, nämlich 5 000 001 H-, 500 001 G-, 50 001 F-, 5001 E-, 501 D-, 51 C-, 6 B-Beamte und endlich noch der oberste A-Beamte ganz allein das Vetorecht gegen jede beliebige Aenderung von Staatsinstitutionen. Ausserdem würde aber das Vetorecht der effektiven Mehrheit des gesamten Militärstandes, des Industriestandes, des Handelsstandes, des Landwirtschaftsstandes usf. zustehen, nach Massgabe des Stimmengewichts jedes einzelnen Beamten.

Weibliche Staatsbeamte stimmen übrigens gerade so wie männliche. Denn in denjenigen Staatsstellungen, in denen Frauen zugelassen werden, sollen diese ebenso brauchbare Beamte sein, wie die Männer, sonst wären sie eben nicht zuzulassen. Die unverheirateten Staatsbeamten beiderlei Geschlechts haben einfache, die Familienväter mindestens doppelte Stimme.

Erziehung.

Durch Schulen sorgt der Staat für die Erziehung aller Staatsbürger. Eine gewisse Schulbildung müssen alle Staatsbeamten besitzen, sonst sind sie als solche unbrauchbar. Denn Sprache und Schrift sind die Hauptmittel, durch die das Staatsgetriebe vollkommen erhalten werden kann. In höhere Schulklassen sollen aber nur tüchtigere, in die höchsten Klassen nur die tüchtigsten Schüler zugelassen werden. Der Staat übernimmt nicht nur die Leitung der Schule, sondern auch den notwendigen Unterhalt der Schüler auf eigene Rechnung, sorgt aber andererseits dafür, dass nicht durch unwürdige und schlechte Elemente das Fortkommen der tüchtigen Schüler gehemmt werde. Für die verschiedenartigen Bedürfnisse und für die verschiedenartigen

[1]) Die Mehrheit aller der bt. Gruppe wirklich angehörenden Beamten, ob diese an der Abstimmung sich beteiligen oder nicht.

Begabungen bestehen zahlreiche und verschiedenartige Schulen im Staat, zu denen sich jeder Staatsbürger melden kann. Nach kurzer Prüfung durch den oder durch die bt. Lehrer wird der Schüler probeweise, zb. für eine Woche, zum Unterricht zugelassen. Mit den definitiv Zugelassenen beginnt erst der ordnungsmässige Kurs.

Ich wiederhole, bei der Besprechung der Schulen, dass die Lehrer aller Schulen, unserem Prinzip getreu, nicht nur versetzbar, sondern auch absetzbar sein müssen. Eine Schule, die mit ihrem Lehrer unzufrieden ist, kann seine Versetzung bz. Absetzung beantragen, wie wir es weiter oben für den allgemeinen Fall dargelegt haben. Bei der Wahl eines neuen Lehrers wirken nicht nur die unmittelbaren Uebergebenen desselben, sondern auch die mit ihm verkehrenden gleichgestellten Lehrer, sowie in entsprechendem Masse, wenn auch noch so wenig, die Untergebenen desselben, das heisst die Schüler selber mit. Denn ein Lehrer wird oft genug von seinen Schülern richtiger beurteilt, als von seinen ihm fernerstehenden Uebergebenen. Auf des Lehrers Fähigkeiten allein kommt es in der Regel weniger an, als auf die Art und Weise, wie er mit seinen Schülern umzugehen weiss. Es ist doch genügend bekannt, dass diejenigen Lehrer, bei denen die Schüler böse Streiche aller Art verüben dürfen, nicht beliebt, dass die pedantischen und vollends die launischen unter ihnen verhasst sind. Umgekehrt ehren die Schüler einen gerechten, wenn auch strengen Lehrer, ganz besonders lieben sie aber denjenigen Lehrer, welcher ihnen am raschesten und leichtesten das Wissen beibringt, welcher namentlich ihr selbständiges Denken begünstigt.

Die richtige Schulbildung erleichtert an und für sich schon das Befördertwerden im Staatsdienst, weil die geistig Hervorragenden in jeder Stellung Vorteile erringen können, so dass sie für höhere Stellen öfter und leichter in Vorschlag gebracht und auch leichter gewählt werden als andere. Indessen sollen unter sonst gleichen Umständen die mit höherer Bildung ausgerüsteten Staatsbeamten namentlich im eigenen Interesse des Staats bei allen Beförderungen den Ungebildeteren vorgezogen werden.

Nicht nur für die geistige, sondern auch für die körperliche Ausbildung seiner Angehörigen hat der Staat zu sorgen. In

geeigneter Weise muss in der Schule das geistige abwechseln mit dem körperlichen Arbeiten, mit dem Turnen. Auf die Turnspiele ist dabei besonderer Wert zu legen, weil sie nützlich sind und überdies mit Lust und Liebe von den Schülern gepflegt werden. Auch strammes Exerzieren ist für die Körperausbildung und für die später notwendig werdende Teilnahme an der Staatsverteidigung sehr nützlich. Turnen, Exerzieren oder Turnspiele müssen täglich mindestens eine Stunde in Anspruch nehmen. Dafür soll das Auswendiglernen unnötiger Dinge stark eingeschränkt werden.

Knaben und Mädchen müssen im allgemeinen gleich lang und mit gleicher Gründlichkeit unterrichtet werden, anfangs in gleicher Weise, später nach verschiedenen Richtungen hin, ihren verschiedenen Lebensberufen entsprechend. Namentlich sollen die Mädchen zu entsprechenden körperlichen Uebungen ganz analog herbeigezogen werden, wie die Knaben. Allerdings werden aus den Knaben die Männer, denen späterhin in erster Linie die Staatsverteidigung Feinden gegenüber obliegt. Allein die Mädchen werden zu Frauen. Die Frauen aber erzeugen die Keime zur Anlage der Söhne, während die Männer die Keime zur Anlage der Töchter hervorbringen (II, S. 168). Es ist demnach zum mindesten ebenso wichtig für die Zukunft des Staats, dass dieser kräftige Frauen, wie dass er kräftige Männer erziehe. Denn aus den kräftigen Frauen gehen hauptsächlich die kräftigen Söhne hervor, die Stützen des Staats in der folgenden Generation. Unter den Kindern kräftiger Mütter werden die Söhne verhältnismässig eher am Leben bleiben, als unter den Kindern schwächlicher Mütter. Durch Erziehung eines kräftigen weiblichen Geschlechts vermehrt und verbessert daher der Staat die männliche Nachkommenschaft. Es wird damit die Frauenfrage, die namentlich durch zu starken Nachwuchs des weiblichen Geschlechts entstanden ist, von selber aus der Welt geschafft. Denn dieser stärkere Nachwuchs ist eine Folge der verhältnismässig stärkeren körperlichen Ausbildung der Männer.

Arbeitswechsel.

Die Fürsorge des Staats für die körperliche und geistige Entwicklung seiner Angehörigen hört nicht auf mit der Schule;

auch die Erwachsenen sind vom Staat noch in geeigneter Weise zu beschäftigen. Denn passende Abwechslung zwischen körperlicher und geistiger Arbeit ist für die normale Entwicklung der Menschen jederzeit ein durchaus notwendiges Erfordernis. Bureauarbeiter, Lehrer, Regierungsbeamte usf. sind täglich mindestens eine Stunde körperlich zu beschäftigen, zum Turnen, zum Exerzieren, zu Turnspielen, oder zur Mithülfe bei Staatsdiensten irgend welcher Art, die körperliche Arbeitsleistungen erfordern, heranzuziehen, wie es gerade am zweckmässigsten geschehen kann.

Damit kann die Einrichtung des Militärs in Zusammenhang gebracht werden. Es ist klar, dass die Verteidigung und Befestigung des Staats einen besonderen Militärstand erfordert, dass für den Staat ein stehendes Heer eine Notwendigkeit ist. Denn je mehr ein Volk vermöge seiner zweckmässigen inneren Einrichtungen emporblüht, um so mehr suchen alle Nachbarvölker, die im übrigen weniger zweckmässig eingerichtet sind — in ihrem Kampf ums Dasein — die Entwicklung jenes Volkes zu hemmen, und zuletzt suchen sie es sogar zu vernichten. Wenn nun ohnehin jeder Staatsangestellte täglich eine Stunde körperlich arbeiten soll, so kann dieses Arbeiten im Interesse des Staats zum Teil so geschehen, dass Woche für Woche von allen männlichen Staatsangehörigen in abwechselnden Gruppen mindestens eine Stunde militärisch exerziert werden muss. In solcher Weise wird ein Milizheer ausgebildet, das in Kriegsangelegenheiten dem stehenden Heer, dem besonderen Militärstand unterstellt ist.

Wie die vorwiegend geistig Arbeitenden jeden Tag mindestens eine Stunde körperlich, so sollen die vorwiegend körperlich Arbeitenden daneben auch geistig arbeiten, sei es, dass sie an gewissen Tagen zu entsprechend einfacheren geistigen Arbeiten für den Staatsdienst herangezogen werden, sei es, dass sie an anderen Tagen Vorträge anhören, zur Erweiterung ihres Anschauungskreises. Namentlich soll in solchen Vorträgen das Staatsprinzip, es sollen in ihnen die Grundlagen der Staatseinrichtung so eingehend und anschaulich erläutert werden, dass jeder Staatsbeamte erkennt, welche Vorteile es für das Ganze und für ihn selber mit sich bringt, wenn er sich dem Ganzen unterordnet und mit allen anderen Staatsangehörigen fest zusammen-

hält. Jeder einzelne Zweig des Staatsbetriebs soll in solchen Vorträgen auseinandergesetzt werden. An die Vorträge hat sich eine freie Diskussion anzuschliessen, in der jeder Staatsangehörige Fragen stellen und seine Ansicht äussern darf. Denn ein solcher Austausch der Meinungen trägt viel bei zur Ausbildung des selbständigen Denkens. Dabei werden zugleich diejenigen körperlich Arbeitenden, welche über den engsten Horizont hinauszusehen im stande sind, diejenigen, welche sich zur Beförderung in höhere Stufen von Staatsstellungen eignen, einem grösseren Kreis von Staatsangehörigen bekannt.

Der geistigen Ausbildung der Staatsangehörigen dienen sodann öffentliche Sammlungen, naturwissenschaftliche und Kunstsammlungen, Bibliotkeken, vom Staat regelmässig veranstaltete Konzerte, Theater usf., alles zu freiem Gebrauch und mit freiem Eintritt für alle Staatsbeamten, in geeigneter Reihenfolge und Abwechslung. Demselben Zweck der geistigen Ausbildung dient die Staatspresse, die auch für Bekanntwerden der wichtigsten Begebenheiten sorgt. Jeder Staatsbeamte erhält umsonst die tägliche Zeitung seines Wohnorts, das Wichtigste aus Nah und Fern enthaltend, sowie eine seinem Arbeitsgebiet entsprechende Fachzeitung. Ausserdem ist er berechtigt, in staatlichen Lesezimmern die umfassenderen Staatszeitungen und alle Fachzeitungen zu lesen.

Alle Veranstaltungen des Staats, die das geistige Leben seiner Angehörigen fördern sollen, huldigen dem allgemeinen Wahrspruch: „Dem Wahren, Guten, Schönen“, in dem Sinne, dass in Litteratur und Kunst nur solches von Staatswegen veröffentlicht und auch nur solches vom Staat geduldet werden darf, welches wahr und gut und schön ist. Wahres und Gutes, welches hässlich ist, oder Gutes und Schönes, welches falsch ist, oder Schönes und Wahres, welches schlecht ist, soll von jeder Veröffentlichung ausgeschlossen sein. Der Geist des Volkes kann dadurch nur verschlimmert werden, er wird sicher nicht veredelt. Selbstverständlich gilt für die Kunst die Regel, dass alles dargestellt werden darf, was wahr sein könnte, wenn es nur gut und schön ist. Denn die Kunst ist an sich nicht Wahrheit, und ihre Hauptaufgabe ist es ja eben, dem Volk Ideale vor Augen zu führen und dadurch der Veredelung desselben zu dienen.

Vereine und Genossenschaften.

Das freie Versammlungsrecht wird vom Staat gewährleistet, soweit nicht staatsfeindliche Bestrebungen sich dabei geltend machen. Diesen Bedingungen unterliegen alle Vereine, Genossenschaften usf. Wie der Staat selber eine Vereinigung aller Staatsangehörigen darstellt, so dürfen sich andere Vereinigungen irgend welcher Art im Bereich des Staates bilden, wenn sie das Staatsprinzip fördern oder zum mindesten demselben in keiner Weise entgegenarbeiten. An Vereinen, die die körperliche oder die geistige Ausbildung ihrer Mitglieder anstreben, hat der Staat sogar das allergrösste Interesse.

Unter solchen Vereinigungen spielen offenbar eine besonders wichtige Rolle die Religionsgenossenschaften. Das Prinzip unseres Staates verlangt, dass jede Religion in gleicher Weise geduldet bz. staatlich unterstützt werde, die als ein geistiges Bedürfnis eines Teils des Volks erkannt worden ist, vorausgesetzt, dass diese Religion staaterhaltende und nicht staatgefährdende Prinzipe verfolgt. Sind indessen zwei verschiedenartige Religionsgenossenschaften in einem Volk verbreitet, so hält jeder Bekenner der einen Religion die andere Religion für falsch, für verderblich, seine eigene Kirche dagegen für die allein selig machende. Die verschiedenen Religionen bekämpfen sich daher offen oder verdeckt, wohl ohne Ausnahme, statt dass sie, wie es mit unserem Staatsprinzip verträglich wäre, in ehrlicher Konkurrenz nach ihrer eigenen Vervollkommnung ringen würden. Daher ist die Duldung solcher verschiedenartigen Religionsgenossenschaften, die sich gegenseitig bekämpfen, für unseren Staat nicht zweckmässig.

Von unserem Staat zuzulassen ist im besonderen nur diejenige Religion, die das Staatsprinzip des Zukunftsstaats, welches vorschreibt, dass die Staatsverfassung fortwährend nach Möglichkeit zu verbessern ist, als höchstes Ideal festhält. Diese Religion predigt die Brüderschaft aller Staatsangehörigen. Sie anerkennt zwar eine Gleichheit ihrer Angehörigen darin, dass sie alle nützliche Glieder eines und desselben Staats sind, sie berücksichtigt aber andererseits die Ungleichheit der verschiedenen Staatsstellungen. Sie trägt den verschiedenen Anforderungen und den verschiedenen Befähigungen und Ausbildungen der Staatsangehörigen Rechnung. Die Staatsreligion muss daher

nicht nur Ehe und Familie, als Basis des Staats, sondern sie muss auch alle anderen durch das Staatsprinzip gewährleisteten Institutionen des Staats als unantastbar bezeichnen. Die Staatsreligion muss ganz besonders den Patriotismus ausbilden. Jedes Staatsvergehen soll zugleich als Religionsvergehen betrachtet und bestraft werden.

Vervollkommnung des Staats.

Zur Bethätigung der Brüderlichkeit unter allen Staatsangehörigen gehören wohl die Kranken-, die Unfall- und die Invalidenversicherung. Indessen erscheinen diese Einrichtungen in der bekannten Form für unseren Staat nicht durchweg zweckmässig. Jedem seiner Angehörigen gewährleistet zwar der Staat das Recht auf Arbeit. Es erscheint auch durchaus zweckmässig, dass der Staat jedem seiner Angestellten, solange dieser leistungsfähig ist, den Dienstjahren entsprechend von Zeit zu Zeit Alterszulagen gebe. Ferner sind Krankenhäuser und Altersasyle staatliche Institute. Auch sollen die im Staatsdienst ganz ohne eigene Schuld invalid gewordenen Staatsangehörigen eine nach Massgabe der Arbeitsunfähigkeit berechnete Entschädigung erhalten. Ausserdem kennt aber unser Staat die Alterspension nicht. Jeder Staatsbeamte soll arbeiten, so lange er arbeiten kann. Zeigt es sich, dass er wegen Gebrechlichkeit oder aus irgend einem anderen Grund die ihm zugewiesenen Arbeiten nicht zweckmässig und gut ausführt, so sollen ihm andere Arbeiten angewiesen werden, die seinen augenblicklichen Fähigkeiten besser entsprechen. Er wird an eine andere geeignete Stelle versetzt. Wer arbeiten könnte, aber nicht arbeiten will, ist aus dem Staatsdienst auszuschliessen.

Jeder Staatsangehörige hat in seiner verdienstreichen Zeit Ersparnisse anzulegen, was ihm von Staatswegen durch Ersparniskassen aller Art in jeder Weise zu erleichtern ist. Wer solches unterlässt, handelt gegen das Staatsprinzip, indem er es an der nötigen Vorsicht, an der Voraussicht der später eintretenden Not fehlen lässt. Solche Elemente können nicht staatlich begünstigt, durch liberalste Zusage von Alterspensionen gewissermassen künstlich gezüchtet werden. Es ist vielmehr

besser, wenn dieselben im Kampf ums Dasein nach und nach aussterben, wenn in unserem Staat die sparsamen Elemente allein übrig bleiben, die für die Zeiten der Not etwas zurücklegen. Nur für die allerdringendsten Altersbedürfnisse errichtet der Staat die Altersasyle.

Ebenso sind von Natur kränkliche Staatsangehörige nur für ihre wirklichen Arbeitsleistungen auszulöhnen, ganz so wie die Gesunden. In unserem Staat soll darauf hingearbeitet werden, dass alle seine Angehörigen kräftig und gesund sind. Daher ist es unzweckmässig, die Ungesunden vor den Gesunden besonders zu begünstigen. Die ungesunden Elemente mögen im Gegenteil auswandern oder rascher aussterben als die gesunden, was von selber eintreten wird, wenn man ihnen das Fortkommen im Staat nicht über die Massen erleichtert.

Für die Eheschliessung soll der Staat ärztliche Untersuchung beider Verlobten unbedingt verlangen, durch Staatsärzte bz. -Aerztinnen. Stellt sich dabei heraus, dass eines der beiden Verlobten erblich belastet oder gefährlich krank ist (Tuberkulose, Fallsucht, Syphilis usf.), so werden sie davon in Kenntnis gesetzt, dass im Falle ihrer Eheschliessung die aus ihrer Ehe hervorgehenden Kinder nicht in den Staatsdienst aufgenommen werden. Jeder heiratsfähige Staatsangehörige bz. die Jugend überhaupt soll schon frühzeitig auf dieses wichtige Staatsgebot aufmerksam gemacht werden, damit jene den Staat selber gefährdenden Krankheiten nach und nach ausgerottet werden.

Es ist ganz selbstverständlich, dass insbesondere für die Verbrecher in unserem Staat kein Platz ist. Mörder und andere schwere Staatsverbrecher werden nach Fällung eines Todesurteils rasch in milder und unauffälliger Art aus der Welt geschafft. Die Nachkommen eines solchen Verbrechers werden im Staatsdienst nicht mehr verwendet. Denn auf sie ist ein Teil der roheren Charaktereigenschaften des Verbrechers durch Vererbung übergegangen, und dieser Teil wird sich früher oder später in ihnen selber oder in ihren Nachkommen wieder geltend machen. Zum mindesten wird durch den Zuwachs an solchen Elementen der Volkscharakter nicht verbessert sondern verschlimmert. Weniger schwere Verbrecher, die aber rückfällig geworden sind, werden mit ihren direkten Nachkommen des Staatsdienstes enthoben bz. des Landes verwiesen.

In anderer Weise wird eine Vervollkommnung des Staats erreicht durch passende Heiraten unter den Staatsangehörigen. Heiraten sich Söhne und Töchter von Fachgenossen, so werden ihre Nachkommen, der Vererbung erworbener Eigenschaften zufolge, in den bt. Fachkenntnissen und Fertigkeiten zum Teil raschere Fortschritte machen und mit der Zeit mehr leisten, als ihre Eltern und Grosseltern. In solcher Weise kann daher das bt. Fach weiter ausgebildet werden, gewissermassen durch verstärkte Differenzierung der Fachgenossen nach der bt. Richtung hin (vgl. Zellendifferenzierung II, S. 5). Wesentliche Umgestaltungen des Fachs nach neuen Gesichtspunkten werden dagegen in der Regel ausgehen von den Nachkommen solcher Eltern, welche selber von verschiedenartigen Fachgenossen abstammen, welche aus verschiedenen Ständen hervorgegangen sind. Allerdings scheinen im allgemeinen Ehen von Angehörigen im Rang wesentlich verschiedener Stände nicht sehr glücklich zu sein. Indessen kann in unserem Staat jeder genügend begabte und tüchtige Staatsangehörige bis an die Spitze des Staatswesens gelangen. Damit verlieren aber die Standesunterschiede viel von ihrer Härte.

Endlich wird namentlich beim Beginn der Einrichtung unseres Zukunftsstaates eine Verbesserung des letzteren möglich sein durch Herbeiziehung besonders hervorragender und tüchtiger Angehörigen eines fremden Volkes. Solche neu aufgenommene Staatsangehörige müssen sich aber verpflichten, unserem Staat ihre Kräfte vollständig zu widmen. Sie müssen für die Folge ihrem neuen Volk und ihrem neuen Staat ganz und gar angehören. Doch gilt auch für sie ohne Ausnahme das allgemeine Staatsgesetz, nach dem sie versetzt, zurückversetzt oder sogar abgesetzt werden können, wie die anderen Staatsbeamten, wenn sie den an sie gestellten Anforderungen nicht genügen, wenn das Staatsinteresse die entsprechende Veränderung als zweckmässig erscheinen lässt.

Zukunftsstaat und moderner Staat.

Wenn wir die Staatsform unseres Zukunftsstaats mit derjenigen irgend eines modernen Staats vergleichen, so erkennen wir allerdings zwischen ihnen beträchtliche Unterschiede. Wir können unsere Staatsform, die wir hier eingehend besprochen

haben, weder als Monarchie, noch als Republik bezeichnen. Zwar erinnern die grösseren Rechte der höher stehenden Beamten, nämlich ihr grösseres Stimmengewicht bei allen Wahlen, Gesetzesabstimmungen usf. einigermassen an die Monarchie. Nach unseren Erläuterungen soll ja der oberste Staatsbeamte (A) ganz allein schon dasselbe Stimmengewicht haben, wie in jeder einzelnen der ihm unterstellten Beamtengruppen (B bis H) alle bt. Beamten zusammengenommen. Er kann ganz allein irgend eine Neuerung in irgend einer Staatsinstitution durch sein Veto verhindern. Man könnte daher unseren obersten Staatsbeamten König nennen. Indessen ist diese Königswürde keine erbliche. Ein solcher König kann sogar abgesetzt werden, wenn er die Mehrheit seiner Untergebenen gegen sich hat. Andererseits gleicht unsere Staatsform darin sehr der Republik, dass jeder Staatsangehörige schliesslich sogar die oberste Staatsstelle erlangen kann, wenn er die nötige Begabung dazu hat, wenn er mehr Fähigkeiten für diese leitende Stelle besitzt, als alle anderen Staatsangehörigen, und wenn er seine Fähigkeiten wirklich auszuüben versteht.

Nicht erblich sollen die höheren Staatsstellungen sein. Dennoch würde der Staat sich selber schaden und seine eigene Vervollkommnung bedeutend hemmen, wenn er auf das Lamarcksche Prinzip der Vererbung erworbener Eigenschaften gar keine Rücksicht nähme. Denn diesem Prinzip zufolge ererben die Nachkommen der höheren Staatsbeamten, namentlich wenn ihre beiden Eltern aus diesen den Staat leitenden Kreisen hervorgegangen sind, zum Teil die Eigenschaften ihrer Eltern. Die Wahrscheinlichkeit, dass solche Nachkommen bezüglich der Staatsleitung zweckmässige Eigenschaften ererbt haben, ist eine grössere für sie als für die Nachkommen tiefer stehen gebliebener Beamten. Daher wird der Staat in der Schulung und in der Beförderung zu höheren Staatsstellungen unter sonst gleichen Verhältnissen die Nachkommen seiner höheren Beamten vorziehen, bis zu dem Augenblick, in dem es sich zeigt, dass solche Nachkommen den an sie gestellten Anforderungen nicht entsprechen. Von diesem Zeitpunkt an muss jedes Vorrecht derselben verschwinden.

Durch das angedeutete Abstimmungs- und Wahlrecht seiner Beamten dürfte, wie es scheint, unser Zukunftsstaat einer dauern-

den gedeihlichen Entwicklung entgegengehen, was von unseren modernen Staaten mit ihren Staatsverfassungen wohl nicht behauptet werden kann. Wenigstens beweist uns die Geschichte das Gegenteil. Aus der absolutistischen Monarchie geht im Lauf der Zeit die konstitutionelle und aus dieser die parlamentarische Monarchie hervor. Immer neue und grössere Rechte verlangt das Volk. Hat einmal der Monarch aus irgend einem Grund den Unwillen des Volks wachgerufen, so schüren die Volksverführer mit allen Mitteln, und aus der Monarchie wird die Republik, in der das Volk mehr und mehr alle Wahlen und das Bestimmungsrecht über alle Staatsinstitutionen in den Machtbereich der grossen Masse legt. Denn niemals giebt das Volk freiwillig eines seiner Rechte preis. Infolgedessen erlangen nunmehr die Ungebildeten, die Untüchtigen, die sich sonst nirgends zur Geltung bringen konnten, und namentlich die jungen und unerfahrenen Staatsangehörigen die grösste Macht. Denn sie bilden der Kopfzahl nach in jedem Staat die Mehrheit. Von dieser Mehrheit wird zuletzt auf absolute Gleichheit aller Staatsangehörigen hingearbeitet, ein Ziel, das dem Volk vorschwebt, seit es von sozialistischen bz. von kommunistischen Agitatoren bearbeitet worden ist. Dieses Ziel hat aber die Zersetzung und die Auflösung des Staats zur Folge, und es führt unabwendbar zum Ruin des ganzen Volks. Denn das Prinzip, alle Menschen gleich zu machen, von welcher Vereinigung oder Genossenschaft es auch ausgehen möge, widerspricht dem Entwicklungsprinzip der organischen Welt; stets müssen sich vielmehr nach dem letzteren die einzelnen Teile eines Ganzen differenzieren. Sie müssen ungleich werden, um dem Ganzen zum Vorteil zu gereichen. Nur ein Staat, in welchem alle Staatsangehörigen ungleich sind, in welchem aber allerdings die mehr oder weniger gleichartigen Staatsangehörigen zu geschlossenen einheitlich arbeitenden, dem Wohle des Staates dienenden Organen sich zusammenscharen, wird auf die Dauer lebensfähig sein und sich vervollkommnen.

Wird aber ein solcher Zukunftsstaat wirklich entstehen können? Wird irgend ein moderner Staat sich freiwillig in den hier nur in seinen Grundzügen angedeuteten Staat verwandeln? Aller Wahrscheinlichkeit nach ist das letztere nicht der Fall. Weil die Einsichtigeren in jedem Volk die Minderzahl bilden,

wird kein Volk, das bereits ein eigenes allgemeines Bestimmungs- und Wahlrecht besitzt, irgend etwas von seinem Recht zu Gunsten einer einsichtigeren Minderzahl preisgeben. Nicht einmal der Umstand, dass in unserem Zukunftsstaat die Tüchtigsten aus den tieferen in die höheren Stellungen vorrücken und dadurch ein bedeutend grösseres Stimmengewicht erhalten, dürfte dabei einen wesentlichen Einfluss haben. Dagegen könnte wohl ein absolutistischer Monarch, dessen Volk sozusagen noch kein Bestimmungsrecht besitzt, diesem aus eigenem Antrieb mit Erfolg eine solche Staatsform geben.

In anderer Weise könnte aber unter Umständen unser Zukunftsstaat entstehen, nämlich als Staat im Staate. Einsichtiger Männer giebt es genug in jedem Volk. Ich nehme an, eine grössere Zahl derselben würde sich vereinigen, zum Zweck der Gründung eines solchen Zukunftsstaats. Mit dem von ihnen nach freiem Ermessen zusammengebrachten eigenen Vermögen, das jedem einzelnen nach Massgabe des Beigebrachten gutzuschreiben ist, werden sie als Genossenschaft zuerst irgend einen für die Lebensbedürfnisse der Staatsangehörigen notwendigen Betrieb übernehmen, entweder ein Handelsgebiet oder einen Industriezweig, ein Gewerbe oder Landwirtschaft usf. Im übrigen bleibt die Genossenschaft selbstverständlich den Gesetzen und Pflichten des Staats unterworfen, in dem sie ihren Betrieb unternommen hat. Wegen der Zweckmässigkeit der Einrichtung ihres Betriebs wird sie aber über konkurrierende ähnliche Betriebe den Sieg davontragen. Die Genossenschaft wird ihr Vermögen vermehren; die Existenz der Genossenschaftsmitglieder erscheint um so gesicherter. Immer neue Staatsbürger werden sich der Genossenschaft zuwenden und in dieselbe eintreten. Das anwachsende Genossenschaftsvermögen wird zur Uebernahme neuer wichtiger Arbeitsgebiete verwendet, so dass die Genossenschaft nach und nach alle zum Lebensunterhalt der Staatsangehörigen notwendigen oder nützlichen Betriebe aufnimmt. Erweist es sich nun, dass eine in solcher Weise eingerichtete Genossenschaft besser funktioniert, als alle anderen mit ihr konkurrierenden privaten oder Staatsinstitute, so wird dieselbe bald die Mehrheit aller Staatsangehörigen umfassen. Dadurch wird sie zur Macht. Das ganze Volk wird sich nunmehr ohne weiteres den neuen Prinzipen unterordnen. Die Regierung, die Gesetz-

gebung, das Militär werden Sache des neu gebildeten Staats, in dem nicht Gleichheit, sondern passend geregelte Ungleichheit der Staatsangehörigen das wichtigste Prinzip bleiben muss.

Solche aus Genossenschaften sich entwickelnde Staaten können in ganz verschiedenen Völkern entstehen. Sind die Grundlagen ihrer Einrichtungen ganz dieselben, so wird es von Vorteil sein, wenn diese Staaten zu Verbänden sich vereinigen, sich also gegenseitig unterstützen, statt sich zu bekämpfen und zu bekriegen. Schliesslich werden sie zusammen einen einheitlichen Staat bilden. Je mehr und je grössere Völker sich in solcher Weise vereinigen, um so grösser wird ihre Macht, um so mehr vermindert sich die Kriegsgefahr. Dieselbe würde zuletzt ganz verschwinden, wenn die namentlich an Macht überwiegende Mehrheit der ganzen Erdbevölkerung zu einem solchen Staate sich zusammenschlösse.

Schluss.

Schöne Worte sind es, die Worte von der Menschenwürde von der Gleichheit aller Menschen, von der Gerechtigkeit, die darin gipfelt, allen Menschen gleiche Rechte zu erringen. Diese Gerechtigkeit ist aber eine Ungerechtigkeit. Sie verstösst gegen das oberste Prinzip der ganzen organisierten Welt, gegen das Prinzip, dass das Bessere, das Zweckmässigere im Kampf ums Dasein siegen muss über das Schlechtere. Nur vermittelst dieses Prinzips konnten die Pflanzen und die Tiere eine so ungemein zweckmässige Entwicklung erlangen. Nur durch diesen Kampf ums Dasein hat sich das am wunderbarsten differenzierte Wesen, der Mensch mit seiner Sprache, seiner Intelligenz entwickelt. Wegen dieses Kampfs haben sich solche Menschen zu Völkern zusammengeschart, in Staaten vereinigt. Ohne denselben wäre die entsprechende Differenzierung der Menschen und wäre die Vereinigung derselben zu staatenbildenden Völkern unmöglich gewesen. Warum will man nun die Differenzierung der Menschen wieder rückgängig machen, wenn doch der Kampf ums Dasein ein immer schwererer wird? Warum sollen durchaus alle Menschen gleich gemacht werden? Ist es nicht besser, wenn die Soldaten, die Handarbeiter, die Gelehrten, jeder in seinem Gebiet das massgebende Wort zu sprechen hat, wenn andererseits

die Uebersicht über verschiedene Gebiete, wenn insbesondere die leitende Verbindung derselben und die Leitung des ganzen Staats denjenigen überlassen bleibt, die mit freierem Blick verschiedene Gebiete gleichzeitig zu übersehen im stande sind?

Ein Arbeiter kann in seiner Spezialität Bewunderungswürdiges leisten. Er kann sich durch genügende Uebung Vorteile in derselben aneignen, die jede Konkurrenz von anderen unmöglich machen, sei nun seine Arbeit eine körperliche Arbeit, oder eine geistige Arbeit, oder beides zugleich. Ein anderer Arbeiter ist nicht im stande, sehr tief in die Einzelheiten einzudringen. Dafür behält er eine bessere Uebersicht über verschiedene benachbarte Gebiete. Dasselbe gilt für alle Arbeiter, nicht nur für diejenigen vorwiegend körperlich Arbeitenden, die die ehrenvolle Benennung „Arbeiter" als ihr alleiniges Recht beanspruchen. Es gilt für Soldaten, für Gelehrte, für Regierende. Wer will aber behaupten, der eine von jenen beiden Arbeitern sei besser differenziert als der andere? Soll derjenige besser differenziert sein, welcher in seine Spezialität tiefer einzudringen, welcher in ihr weiter vorzudringen vermag, oder derjenige, welcher die bessere Uebersicht über verschiedene Gebiete behält, welcher besser zu leiten, zu herrschen versteht? Gewiss kann die eine Art der Differenzierung gerade so bewunderungswürdig sein wie die andere.

Eine Ungerechtigkeit ist es, wenn derjenige Staatsbürger, dessen Intelligenz dahin ausgebildet ist, im kleinen Kreise, in seinem speziellen Fach Hervorragendes zu leisten, zum Leiten und Regieren seiner Mitbürger herbeigezogen wird. Er muss selber bald das Gefühl erhalten, nicht in seiner rechten Stellung zu sein. Ebenso ungerecht ist es, wenn der besonders zum Leiten und Regieren Veranlagte nur zu einer ganz speziellen einseitigen Arbeit angehalten werden soll, in der er es niemals zu einer Virtuosität bringen kann. Bei solch einer ungerechten Arbeitsteilung kann das ganze Gemeinwesen, es kann der Staat nur leiden. Man lasse doch diejenigen leiten und regieren, die besondere Fähigkeiten haben, verschiedene Gebiete gleichzeitig zu übersehen! Ein Volk, in welchem den älteren, erfahreneren Staatsangehörigen ein grösserer Einfluss eingeräumt wird als den jungen, unerfahrenen, wird normalerweise stets Vorteile erlangen über ein Volk, in welchem jung und alt ganz gleiche

Stimmen haben. Jenes Volk siegt schliesslich, unter sonst gleichen Verhältnissen, im Kampf ums Dasein über dieses, wenn auch der Kampf scheinbar ganz im Frieden abläuft. Es hat eben jenes Volk die zweckmässigere Staatsform als dieses. Ebenso ist (im Wettbewerb gegen ein Volk mit gleichem Stimmrecht für alle seine Staatsangehörigen) ein anderes Volk im Vorteil, welches von zwei sonst gleich beschäftigten Staatsbürgern demjenigen das grössere Stimmrecht verleiht, der die grössere Intelligenz in seinem Fache zeigt.

Die absolute Freiheit und Gleichheit aller Bürger eines Staates ist nicht nur eine Ungerechtigkeit, die zu Gunsten der unfähigen an den fähigen Bürgern begangen wird, sondern sie ist eine Unmöglichkeit. Sie ist eine Utopie. Es ist ein Verbrechen der Volksverführer, diese Freiheit und Gleichheit zu erstreben, sie als das höchste Ziel dem Volk vorzuspiegeln. Denn sie führt unfehlbar zum Ruin des Volkes. Dasjenige Volk aber, welches die verschiedenen Fähigkeiten seiner Angehörigen in entsprechender Weise zu würdigen versteht, welches Handarbeit bz. Geistesarbeit den jeweilen zu solchen Arbeiten besonders Veranlagten überlässt, welches nur die mit freierem Blick begabten Beamten zur Regierung heranzieht, wird siegen im Kampf ums Dasein, den alle Völker der Erde mehr und mehr zu bestehen haben. Dieses Volk wird das mächtigste unter allen Völkern, das zuletzt allein übrig bleibende Volk sein.

Sachregister

für alle drei Teile des Werkes.

(Häufig wiederkehrende Begriffe sind in der Regel nur bei ihren erstmaligen Anwendungen aufgezählt.)

A.

Abänderung II 41.
Absetzbarkeit III 228.
Absorption I 31, 35.
Abstraktion III 125, 130.
Accommodation III 52, 104, 106.
Accord III 77, 225.
Ackerbau III 220.
Addition III 166.
Adhäsion I 16.
Adventivknospe II 66.
Aehnlichkeit III 66, 122, 172.
Aether I 6, 15, 106.
Affenart III 177.
Affenmensch III 177.
Affinität I 16, 25, 106.
Aggregatzustand I 9, 12.
Ahnen II 215, III 175.
Aktivität I 113, 115.
Alter II 121, III 238.
Ameisen II 169, 210, III 219.
Amöben I 124, 140, 182, 202, II 105.
Amphibien II 150.
Analyse II 48.
Anastomose III 52.
Anknüpfungspunkt III 147.
Anlagerung I 45.
Anlage II 166, 210.
Anpassung I 65, 86, 178, II 10, 25, 39, 120, III 184, 221.
Anschauung III 133.
Antipoden I 114.
Apposition I 97, 102, 103, 131.
Arbeit III 234, 245.
Arten II 41, 63, 91, 216.
Arterien II 113.
Arthropoden II 174.
Assimilation I 33, 47, 52, 65, 75, 130, 150, II 51, 80, III 36.
Association III 35, 41, 42, 46, 47, 52, 60, 70, 75, 115, 155, 169.
Atmung II 111, 113.
Atom I 5, 6, 15, 81, 107, 157, III 183.
Aufmerksamkeit III 163, 164, 170.
Aufrechtsehen III 51.
Aufschliessung II 59.
Aufsplitterung I 175, 192.
Aufstehen III 149, 152, 154.
Auge II 97, 208, III 19, 46, 99, 100, 101, 104, 106, 149.
Ausbildung III 132.
Ausscheidung I 83, 131.
Aussenwelt I 72, II 202, III 6, 13, 138, 175.
Ausspeien III 109.
Auswahl I 24, 52, II 216.
Auswendiglernen III 165.

B.

Bakterien I 206, II 100, 218, III 216.
Bastard II 161.
Beamter III 224, 228.
Beanspruchung I 138.
Beförderung III 229.
Befruchtung II 39, 150, 180, 194.
Begattung II 151.
Begrenzungslinie III 106.
Begriff III 56, 120, 144, 152.
Belehrung III 176.
Belohnung III 120.
Belichtung I 72, II 6, 51, 79.
Benzolring III 107.
Berührung III 109.
Bestäubung II 58, 61.
Betasten III 30, 44, 47.
Betrachten III 46.
Bevölkerung III 176.

Bewegung I 87, 140, II 90, 112, III 30, 80, 98, 107, 153.
Bewegungsorgan II 92, 111.
Bewusstsein III 13, 129, 131, 139, 173.
Bewusstseinsnervensystem III 130, 164.
Bezugsquelle III 227.
Bienen II 153, III 219.
Bienenstaat II 169, 212.
Bild III 21, 46, 105, 122.
Bindung I 107.
Binokulares Sehen III 50.
Biogenetisches Grundgesetz II 191.
Bläschen I 77, 98, 105, 130.
Blätter II 51, 82.
Blastula II 199.
Blütenhonig II 58, 61.
Blut II 93, 103, 118, III 81, 111, 137, 164.
Blutkörperchen II 94, 100.
Blutsverwandte III 176.
Brüderlichkeit III 223, 237.
Buchstabieren III 68.

C.

Cenogenese II 191.
Charaktere II 210.
Chitinpanzer II 174.
Chlorophyll I 150, II 51, 80.
Cormophyten II 49.
Cylinder I 69.

D.

Dauersporen I 132, II 37.
Dendriten II 204.
Denkthätigkeit III 137.
Deutlichsehen III 128.
Differenzierung I 164, 171, 180, II 5, 19, 30, 34, 49, 91, 193, III 9, 25, 116, 216.
Diffusion I 27.
Diskussion III 236.
Dissonanz III 62, 108.
Dissoziation I 24, 36, 73, 235, II 119.
Doppelbrechung I 112.
Dotter II 150, 194.
Drachenprinzip II 108.
Drehungsvermögen I 113, 115.
Durchlässigkeit I 54, 65, 96, 135.

E.

Eier I 122, 200, II 24, 120, 150, 196, 214, III 2, 180.
Eigenschaften II 43, 63, 162, 168, 169, III 54, 124, 172.
Einkommensteuer III 226.
Einmaleins III 165.
Einreden III 164.
Einschnürung I 97, 194.
Eiweissmolekeln I 209.
Ektoderm II 208.
Elastizität I 23, 113.
Elektrizität I 16, 26, 106.
Elementarorganismus I 117.
Eltern II 29, 152, III 175, 217.
Embryo II 120, 200, 214, III 2.
Empfindungen III 15, 22, 44, 53, 69, 112, 130.
Energie I 21, 160, II 108, 150, III 82, 93, 135.
Entscheid III 163.
Entwicklung II 193, III 221.
Epidemie II 218.
Epigenesis I 200, II 24, 62, 200.
Erblichkeit III 241.
Erbschaftssteuer III 227.
Erfahrung III 52, 79, 124, 163.
Erinnerung III 38, 48, 66, 86, 115, 133.
Erlaubt und Unerlaubt III 126, 173.
Ermüdung I 157, II 119, III 106, 136, 164.
Erstarrung I 38.
Erwachen III 134, 148, 154.
Erzeuger II 151.
Erziehung III 116, 166, 173, 224, 232.
Exerzieren III 234.
Exkret II 94.
Expansion I 146, II 95.
Extremität II 105, 215.

F.

Fadengerüst I 185, 195.
Färbemethode I 127.
Familie III 177, 217.
Farbe III 100.
Feind I 155, 170, II 7, 20, III 104, 217.
Ferment I 112, II 16, 100, 115.
Fett II 9.
Fettkörper I 45.
Feuchtigkeit III 17.
Fibrillen I 77, 103, 130, 176, II 16, 197, III 8, 35.
Finger III 30.
Fische II 105, 215.
Fistellen I 50, 63, 77, 94, 98, 130.
Fixieren III 106.
Flächenvergrösserung I 95.
Fliegen II 106, 116.
Flimmerepithel I 143.
Flüssigkeit I 26.
Fluoreszenz I 29.
Form III 49, 54.
Fortbewegung I 144, 153.
Fortpflanzung I 98, 129, 181, 200, II 7, 22, 60, 95, 148, 162, 193.
Frau III 127, 232, 234.
Freiheit III 218, 223.
Fremdkörper III 101, 102.
Fruchtbarkeit II 160.
Früchte II 83.
Fundamentalsätze I 37, 74, 139, II 167.
Furchung II 192, 196, 202.

G.

Ganglien II 99, 204, III 4, 9.
Gas I 23, 28.
Gastrula I 90, 95, 104, 130, 145, II 92, 199.
Geburt III 4, 17, 50, 111, 133.
Gedächtnis III 46, 57, 74, 124, 160, 165, 168, 170.
Gedankenfolge III 171.
Gedankensprung III 171.
Gedicht III 168.
Gefässe II 9, 50, 93.
Gefahr II 36, 52, 149.
Gefühle III 80, 114.
Gegenseitigkeitsverhältnis I 75, 87, 105, II 31, 151.
Gegenstand und Bild III 53.
Gehen II 109.
Gehirn II 99, 209, III 26, 51, 139.
Gehör III 22, 58, 61, 64.
Gehörorgan III 58, 165.
Geisseln I 87, 140, 232, II 116.
Gelenk III 30.
Gemisch I 48.
Generationswechsel II 88, 148, 214.
Genossenschaft III 220, 237.
Geräusch III 59, 64.
Gericht III 220.
Gerinnen I 245.
Geruch II 23, 97, III 24, 69, 108.
Gesamtempfindung III 36, 50, 71.
Geschlecht II 34, 152, 157, 168, 169, 214.
Geschmack II 21, 97, III 24, 69, 109.
Gesellschaft III 220.
Gesicht III 48, 53, 55, 58, 69, 119, 165.
Gewebe II 22, 91.
Gewerbe III 220.
Gift I 170.
Gleichgewicht I 105, 128, 154, 188, II 32, 156, III 139.
Gleichheit III 223, 237.
Gleich und Ungleich III 43, 79.
Grenze I 119, II 47, III 2, 185.
Grössenverhältnis I 81, 135, 201.
Grundeigentum III 228.
Grundfarbe II 132, III 19.
Grundlage I 5, 14.
Grundton III 62, 66.
Gruppe III 217.

H.

Haar I 140.
Halbschlaf III 164.
Hand III 30, 44.
Handel III 220.
Handlung III 80, 98, 111, 114, 123, 141, 156.
Hauptzentrale II 99, III 4, 25, 84.
Heer III 235.
Heirat III 240.
Hemmung III 88, 159.
Herde III 218.
Hersagen III 172.
Herz II 112, 118, 209.
Herzbewegung II 112.
Herzkammer II 112.
Hören III 22, 58, 61, 64.
Hoftüpfel II 66.
Hornhaut III 101.
Hunger III 111, 116.
Hydratation I 115.
Hypnotismus III 164.

I.

Ich, das III 13, 24, 39, 54, 78, 130.
Ichempfindung III 44, 48, 78.
Idealstaat III 223.
Immunität II 218.
Impfung II 218.
Indifferenz III 84, 119.
Individuum II 23, III 220.
Indolenz III 97.
Industrie III 220.
Infusorien I 148, 202.
Insekten II 116, 150.
Instinkt III 184.
Intercellulare II 59, 93.
Intussusception I 97, 131.
Invalidenversicherung III 238.
Isomerie I 109, 209.

K.

Kältereiz III 16.
Kalknadel I 171.
Kaltblüter II 118.
Kampfmittel II 95.
Kampf ums Dasein I 24, 53, 76, 130, III 216.
Kanal II 9, 50.
Kapillare II 114.
Kapitalist III 227.
Keim II 38, 62, 168, 197.
Keimesentwicklung I 201, II 120, 168, 191, III 25, 51, 73, 87, 112.
Kern I 126, 151, 183, II 186.
Kernmembran I 151.
Kernspindel I 188.
Kernsubstanzen I 151.
Kieselnadel I 171.
Kind III 4, 127, 217.
Kirche III 220.
Klang III 61.
Knochen II 93.
Knollen II 65.
Knospung I 101, 130, 182, 200, II 82.
Körnchen I 77, 101, 130.
Körper I 18, 28, 38, 60, 107.
Körperteil III 17, 31, 44, 102, 116, 129.
Kohäsion I 16, 53, 106.
Kohlehydrat I 110, II 9.
Kohlensäure II 50, III 14.
Kolonie II 23, III 221.
Kombinationston III 61.
Konjugation II 151.
Konkurrenz II 26, III 226.
Konsequenz III 121, 174.
Konsonant III 66.
Konsonanz III 62.
Konstitution I 50, 106, 209.
Kontraktion I 61, 88, 146, II 95.

Kontrast III 151, 160.
Konvektionsstrom I 84.
Konzentration II 54, 83.
Konzert III 236.
Kopulation II 27, 157, 216.
Korallenriff II 237.
Korksubstanz I 211.
Korrelation I 87, 105, 154, 187, II 18, 57, 100, 102, 156, 210, III 4, 93.
Kraft I 13, 40, 56, II 6.
Kraftlinie I 41, 199.
Krankenversicherung III 238.
Krankheit II 121.
Kreisen II 109.
Kriechen II 105.
Krieg III 221.
Kristallbildung I 38, 106.
Kugel I 63, III 31, 46.
Kulturmensch III 61, 178.
Kulturprinzip III 222.

L.

Labyrinth II 133.
Lächeln III 118.
Lähmung I 157, II 119.
Lage III 49.
Lager III 220.
Lallen III 116.
Larven II 150, 175, 214.
Laufen II 105.
Launen III 174.
Laut III 66.
Lebensbedingung II 158.
Lebensfähigkeit I 131.
Lebewesen III 183.
Lernen III 124.
Lesen III 68, 236.
Leukocyten II 100.
Licht I 7, 16, 29, 52, 77, 112, III 19.
Liebesreiz II 32.
Liebkosen III 123.
Lieferant III 224.
Linin I 151.
Linseneinstülpung II 208.
Lippen III 112.
Litteratur I 207, II 67, 122, 176, 218, III 186.
Lösung I 26, 48, 115.
Logischdenken III 172.
Lohn III 225.
Lunge II 209, III 5, 108.
Lustgefühl III 83, 96, 112, 155.

M.

Magen II 111, III 5, 111.
Magnetismus I 17.
Mann III 127.
Mannigfaltigkeit I 49.
Majorität III 231.
Membran I 53, 63, 95, 125, 172, 183.
Menschen III 25, 63, 79, 103, 120, 183.
Menschenstaaten II 173, III 219, 221.
Mesoderm II 208.
Milchflasche III 43.
Militär III 220, 235.
Mischungsprinzip III 19.
Missbildung II 157.
Missjahre III 227.
Molekeln I 9, 22, 26, 33, 50, 75, 106, III 1, 182.
Moneren I 117, 126, 130, III 181.
Monopol III 225.
Moral III 175.
Morula II 199.
Multiplikation III 166.
Multirotation I 116.
Mund I 146, II 92, 111, III 15, 30, 112.
Muskel I 173, II 13, 95, III 30, 85, 110.
Mutter III 111, 123, 174.

N.

Nachahmung III 117.
Nachkomme II 152, 157, 193, III 176, 221.
Nachsprechen III 123.
Nachtruhe III 136.
Nachwuchs II 39.
Nahen III 121.
Nahrung I 33, 46, 72, 90, 132, 163, 180, II 92, 114, 162, III 24, 69, 93, 112, 147, 216.
Namen III 120.
Narcotica I 158, II 119.
Nebenzentrale II 99, III 10, 73, 84, 92.
Nekrobiose I 246, II 122, III 25.
Nerven I 174, II 97, 114, 209, III 4, 84, 87, 108, 132.
Nervenerregung III 23, 82, 115, 131, 163.
Nervensystem II 102, 210, III 4, 5, 13, 36, 84, 115, 131, 132, 134, 180, 183, 184.
Netzhaut III 20, 46, 104.
Neubildung II 66.
Neurit II 204.
Not III 227.
Nuance III 19.
Nuclein I 152.
Nucleole I 183.

O.

Oberflächenspannung I 16.
Oberhaut III 17.
Oberton III 62.
Objekt III 45.
Oel II 9.
Ohr II 97, 133, III 22, 61, 107.
Ontogenie II 191.
Optikus II 208.
Optimum I 162, 181, III 16, 81.
Organ II 22, 91, 102, 131, 151, 163, 188, 215, III 2, 111.
Orientierung I 34, 53, 106.
Ortsbestimmung III 60.
Osmose I 26, 49, 168, II 54.
Ovoid I 71, 85, 100, 141.

P.

Pacht III 228.
Parasit II 48, 88, 100.
Parthenogenesis I 129, 182.
Patriotismus III 238.

Periode II 36, 52, 118. 149.
Person III 120, 147.
Pflanzen I 123, II 5, 22, 36, 47, 83, 148, III 178, 185.
Pflicht III 151, 223, 228.
Phase I 20, 32.
Phosphoreszenz I 29.
Phylogenie II 191.
Polarität II 65.
Pol I 17, 41.
Polizei III 220.
Polkörperchen I 183.
Polymorphismus I 106.
Polypen II 237.
Porus I 93, 145.
Präformation I 200, II 24, 62, 200.
Presse III 236.
Prosa III 172.
Protisten I 117, 124, 142, II 47, 90, III 178, 185.
Protoplasma I 126, 149, 225, II 15, 98, 186, 193, III 8.
Pseudopodien I 87, 139, 150.
Puppen II 175.

Q.

Quellung I 58, 107, 133, 210.

R.

Racemkörper I 114.
Raumunterscheidung III 49.
Raupen II 105.
Rechte III 223, 228, 238.
Recht und Unrecht III 127, 173.
Reduktionsteilung II 154, 157.
Reflex III 84, 113, 153.
Regeneration I 132, 148, 201, II 45, 64, 119, 200, III 136, 147, 221.
Regierung III 220.
Reifung II 39, 151.
Reiz I 154, 175, 187, II 7, 16, 32, 59, III 13, 29, 44, 75, 88, 91, 93, 94, 136, 148, 184.
Reizgrenze I 162.
Reizoptimum I 162, II 32.
Reizschwelle I 162, III 74, 81, 131.
Reizübertragung I 160.
Reizumwandlung I 159.
Rekapitulation I 117, II 1, III 12, 80.
Religion III 237.
Reproduktion III 124.
Reptilien II 119, 215.
Reservestoff I 167, III 7, 51, 80, 194, III 137.
Resonanz I 32, 66, 105, III 22, 65.
Resorption II 151, III 36, 133, 171.
Richtungsbestimmung III 60.
Richtungskörperchen II 154.
Röhrchen I 77, 103, 130.
Röhre II 9, 93.
Rudimentäre Organe II 131, 188, 215, III 221.
Rückbildung III 36, 139.
Rückenmark III 26, 33.
Rückverwandlung III 83.

S.

Sache III 123, 147.
Säugetiere II 119, 215, III 219.
Saft II 94.
Saftbahnen II 52.
Saftsteigen II 53.
Samen I 132, 182, 200. II 24, 37, 61, 91, 214.
Samenzelle III 2.
Sammelnamen III 127.
Sammlung III 236.
Sauerstoff II 52, III 5.
Saugen III 31, 112.
Schädling II 218.
Schall I 16, III 22, 59, 107.
Schlaf III 136, 164.
Schlagen III 121, 125.
Schleim III 110.
Schlucken III 112.
Schmerzgefühl III 55, 83, 85, 95, 109, 112.
Schreien III 13, 31, 116, 121.
Schreiweinen III 111.
Schrift III 67, 220.
Schule III 167, 172, 220, 232.
Schutzhülle II 37.
Schwänzchen des Embryo II 188, 215.
Schweben II 106.
Schwellenwert I 162, III 81, 97, 135.
Schwimmen II 105.
Seelenleben II 158, 165, III 1, 165, 177.
Segeln II 110.
Sehen III 19, 46, 47, 100, 104, 106.
Sehnen III 30.
Sehnerv II 208, III 51, 52.
Sekret I 147, II 95, 209, III 110.
Selbstbetastung III 44, 53.
Selbstbewusstsein III 129.
Selbstempfindung III 78, 95, 114.
Selektion I 33, 45, 76, 131, III 184.
Sexualcharaktere II 151, 169, 188, 210.
Sezernierung III 88, 110.
Sichtbarkeit I 82.
Singstimme III 63.
Sinnesorgane II 97, 133, 209.
Sinnpflanze II 59.
Sittlichkeit III 176.
Sonderinteresse III 223.
Speichel II 212.
Speisebrei II 111.
Spermatozoen I 143, 202, II 35, 150, 194, III 2, 180.
Spielzeug III 31, 42, 52.
Spital III 238.
Sporen I 200.
Sprache III 66, 116, 170, 220.
Staat III 219, 238, 240.
Staatenbund III 244.
Staatsbetrieb III 224.
Staatseinrichtung III 219, 224.

Staatsprinzip III 235.
Staatsvermögen III 227.
Stabilität I 23, 42, 48, 53, 99, 107, 210, II 40.
Stäbchen III 19, 46, 104.
Stärke II 51.
Stammbaum II 191.
Stammesentwicklung II 191, 215, III 90, 112.
Statischer Sinn II 133.
Stechen III 58.
Steckenbleiben III 170.
Steifigkeit I 166, 177.
Steuer III 226.
Stimmrecht III 229.
Stoffwechsel I 82, 103, 125, 176, II 6.
Strafe III 127.
Strahlung I 28, 36, 41, 53, 66, 138.
Struktur I 18, 38, 106, 176.
Stützorgane I 181, II 7, 93, 104.
Subjekt III 45, 78.
Substanzen I 61, 151, 165, 178, 195, II 168.
Suggestion III 165.
Symmetrie I 41, 86.
Sympathicus II 102, 209.
Synbionten I 153, 168, II 17, 95, 100, III 85, 226.
Syncytien II 5.
Synthese I 112, II 48, 90.

T.

Tagesarbeit III 137.
Taglohn III 225.
Tasten III 18, 29, 31, 35, 54, 55.
Tastorgane II 97, III 25, 54.
Teilung I 100, 130, 190, III 41.
Telegonie II 189.
Telodendrien II 205, III 27, 55, 66.
Temperatur I 25, 106.
Termiten II 169, 212, III 219.
Thätigkeit III 124, 155, 172.
Thallophyten II 49.
Theater III 236.
Thränen III 110.
Tiere II 5, 22, 36, 47, 90, 169, III 1, 177.
Tochterkolonie III 221.
Töne III 22, 61, 77.
Tod I 129, 170, II 100, 120, III 25, 96, 217.
Transfusionsstrom II 55, 66.
Transportorgane II 93.
Transportwesen III 220.
Träume III 139, 147, 171.
Trockenheit III 17.
Tüpfel II 66.
Turgor II 59.
Turnen III 234.

U.

Uebergang II 48.
Ueberlegung III 158, 170.
Uebervölkerung III 216.
Ueberwindung III 122.
Uebung III 41, 101, 123, 171.
Unentschlossenheit III 160.
Unfallversicherung III 238.
Unfruchtbarkeit II 159.
Ungleichheit III 223, 237.
Unlustgefühl III 82, 96, 155.
Unternehmer III 224.
Unterscheidung III 120, 123, 183.
Unterschiedsempfindlichkeit III 38, 97.
Unzufriedenheit III 230.
Ursache III 172.
Urzeugung I 129, 204.

V.

Vakuolen I 124, 146, 183, II 8, 116.
Varieren I 247, II 30, 63, 174.
Venen II 113.
Verästelung III 26, 55.
Verantwortlichkeit III 174.
Verbände III 220.
Verbrecher III 176, 239.
Verbrennung III 55, 160.
Verdauung I 153, 168, 178, II 111.
Verdauungsorgane II 94, 104, 163, 209, III 112.
Vereine III 237.
Vererbung I 98, 181, 207, II 22, 40, 43, 62, 151, 162, 168, 169, 174, 186.
Vergessen III 41, 171.
Vergleichen III 43, 79, 129, 172.
Verkehrswesen III 220.
Vermögensteuer III 226.
Versammlungsrecht III 237.
Versetzung III 229.
Verständnis III 133.
Vervollkommnung III 238.
Verwandte II 32, 157, III 176.
Vetorecht III 230.
Viehzucht III 220.
Vögel II 106, 119, 215, III 219.
Vokale III 66.
Volk III 176, 218, 226.
Volksverführer III 242.
Vorausbestimmung III 174.
Vorfahren II 193.
Vorhof II 113.
Vorschlagsrecht III 229.
Vorstellung III 75, 124, 150, 171.
Vorträge III 235.

W.

Wabenstruktur I 176.
Wachstum I 18, 38, 50, 77, 98, 122, 181, II 194.
Wärme I 16, 29, III 15.
Wahlrecht III 229.
Wanderung II 11, 26, 91, III 216.
Warmblüter II 118.
Wasserbahnen II 52.
Weltäther I 6, 15.

Werkstätte I 72.
Wilde III 178.
Wille III 135, 150, 164.
Willensfreiheit III 135, 162, 175.
Willkür III 158.
Wimpern I 87, 140, 150. II 116.
Wirbeltierembryo II 208.
Wirkung III 172.
Wissen III 173.
Witterung II 30, 150.
Wort III 66, 68.
Würfel III 42.
Wurzel II 51, 82.

Z.

Zählen III 166.
Zahlengedächtniskünstler III 171.
Zapfen III 19, 46, 104.
Zeitdauer des Reizerfolgs I 163.
Zeitgenossen III 175.
Zeitraum III 40.
Zeitunterscheidung III 71.
Zellen I 117, 130, 165, 181, II 5, 18, 38, 59, 91, 204, III 1, 28, 85, 178.
Zellenstaaten II 1, 25, III 181, 220.
Zellenteile I 122, 146, 164, 195, II 197.
Zellmembran I 131.
Zellmund I 146.
Zellteilung I 181, 183.
Zentrale I 187, II 6, 26, 36, 99, 199, 228, III 4.
Zentralkörperchen I 190.
Zentralorgane I 187, II 97, 196, III 36, 73.
Zerfall I 137, 181, 210, II 120, III 25, 82, 133.
Zerplatzen I 99.
Zeugung I 104, 129.
Zirkularpolarisation I 114.
Zoll III 227.
Zotten II 95.
Züchtung II 42, 216.
Zufall III 86, 105.
Zugbänder II 93.
Zugfestigkeit II 58.
Zukunftsstaat III 222, 240.
Zunge III 30.
Zustand III 124, 172.
Zweckmässigkeit II 6, 42, 97, III 94, 221.
Zwiebel II 65.
Zwillinge II 201.
Zwitter II 61, 148.

Uebersicht der Litteraturabkürzungen.

(BD). A. A. Böhm und M. v. Davidoff, Histologie des Menschen, 2. Aufl. Wiesbaden 1898.
(CC). C. Claus, Lehrbuch der Zoologie, 2. Aufl. Marburg und Leipzig 1883.
(HC). H. Credner, Elemente der Geologie, 8. Aufl. Leipzig 1897.
(LD). L. Döderlein, Phylogenetische Betrachtungen, Biolog. Centralblatt 7, Nr. 13. 1887.
(LE). L. Edinger, Bau der nervösen Zentralorgane, 5. Aufl. Leipzig 1896.
(AF). A. Forel, Der Hypnotismus, 3. Aufl. Stuttgart 1895.
(EH). E. Haeckel, Natürliche Schöpfungsgeschichte, 9. Aufl. Berlin 1898.
(EH_1). E. Haeckel, Anthropogenie, 4. Aufl. Leipzig 1891.
(EH_2). E. Haeckel, Die Welträtsel. Bonn 1899.
(LH). L. Hermann, Physiologie, 11. Aufl. Berlin 1896.
(OH). O. Hertwig, Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte, 6. Aufl. Jena 1898.
(OH_1). O. Hertwig, Die Zelle und die Gewebe I. Jena 1893.
(OH_2). O. Hertwig, Die Zelle und die Gewebe II. Jena 1898.
(OH_3). O. Hertwig, Zeit- und Streitfragen der Biologie I. Jena 1894.
(OH_4). O. Hertwig, Zeit- und Streitfragen der Biologie II. Jena 1897.
(OK). O. Külpe, Grundriss der Psychologie. Leipzig 1893.
(LB). H. Landolt und R. Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen, 2. Aufl. Berlin 1894.
(WP). W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie I, 2. Aufl. Leipzig 1897.
(PP). P. Poirier, Traité de l'Anatomie humaine, Tome II. Paris.
(WPr). W. Preyer, Die Seele des Kindes, 4. Aufl. Leipzig 1895.
(WR). W. Roux, Programm und Forschungsmethoden der Entwicklungsmechanik der Organismen. Leipzig 1897.
(SN). E. Strasburger, F. Noll, H. Schenck, A. F. W. Schimper, Lehrbuch der Botanik, 3. Aufl. Jena 1898.
(MV). M. Verworn, Allgemeine Physiologie, 2. Aufl. Jena 1897.
(MV_1). M. Verworn, Psycho-Physiologische Protisten-Studien. Jena 1889.

(HW). H. Waldeyer, Naturwissenschaftliche Wochenschrift XI, Nr. 25. Berlin 1896.

(AW). A. Weismann, Ueber die Vererbung. Jena 1883.

(AW_1). A. Weismann, Allmacht der Naturzüchtung. Jena 1893.

(AW_2). A. Weismann, Aeussere Einflüsse als Entwicklungsreize. Jena 1894.

(AW_3). A. Weismann, Neue Gedanken zur Vererbungsfrage. Jena 1895.

(AW_4). A. Weismann, Ueber Germinalselektion. Jena 1896.

(AW_5). A. Weismann, Hypothese einer Vererbung von Verletzungen. Jena 1889.

(AW_6). A. Weismann, Ueber die Dauer des Lebens. Jena 1882.

(AW_7). A. Weismann, Ueber den Rückschritt in der Natur. Freiburg i. B. 1886.

(AW_8). A. Weismann, Botanische Beweise für eine Vererbung erworbener Eigenschaften, Biolog. Centralblatt **8**, Nr. 3 u. 4. 1888.

(WW). W. Wundt, Grundriss der Psychologie, 3. Aufl. Leipzig 1898.

(WW_1). W. Wundt, Vorlesungen über die Menschen- und Tierseele, 3. Aufl. Hamburg und Leipzig 1897.

(EZ). H. E. Ziegler, Theoretisches zur Tierpsychologie und vergleichenden Neurophysiologie, Biolog. Centralblatt **20**, Nr. 1. 1900.